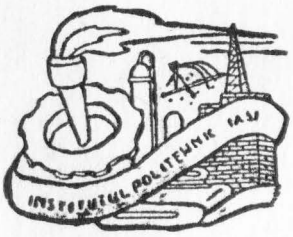
INSTITUTUL POLITEHNIC IAŞI

FACULTATEA DE MECANICĂ



Conf. dr. ing. GUTMAN MARCEL

Aparate şi metode pentru experimentarea maşinilor termice

VOL. I

— 1973 —

PREFAȚA

Cursul se adresează în special studenților din anul IV și anul V ai Secției de mașini termice din Facultatea de mecanică , dar poate fi util și studenților altor secții din alte facultăți, cum ar fi de pildă, cei ai Secției de termoenergetică și în general acelora care se ocupă de experimentarea și exploatarea mașinilor și instalațiilor termice. Volumul I cuprinde 12 capitole dintre care în primele 4 sînt tratate în afara capitolului introductiv,chestiuni generale ca: noțiuni de metrologie generală, prelucrarea datelor experimentale și generalități asupra măsurărilor. In următoarele 8 capitole se tratează măsurările unor mărimi care intervin frecvent în cadrul experimentării și exploatării mașinilor și instalațiilor termice și prelevarea probelor de gaze

In cadrul părții generale s-a acordat atenție, atît noțiunilor de metrologie generală în vederea fixării corecte a acestora și pentru a orienta pe studenți în general asupra modului în care trebuie abordată problema alegerii metodei și aparatelor pentru măsurare, cît și prelucrării datelor experimentale unde s-a insistat asupra modului de înscriere a rezultatelor experimentale, stabilirii preciziei măsurărilor și calculului erorilor

La capitolele în care s-au tratat măsurările unor mărimi (temperatură, presiune, viteză, debit, timp, turație, moment și putere mecanică), s-au amintit în general principalele metode și categorii de aparate folosite, insistîndu-se mai mult asupra acelora utilizate mai des și mai ales, asupra acelora care sînt mai accesibile realizării practice în laborator.

In general, s-au prezentat (acolo unde acest lucru a fost posibil), avantajele şi dezavantajele metodelor sau aparatelor de măsurare, indicîndu-se (acolo unde autorul a dispus de date suficiente) domeniile de măsurare şi limitele de variaţie ale erorilor de măsurare. In felul acesta, studenţii sînt obişnuiţi să selecteze în mod critic metodele şi aparatele necesare măsurării. Unde a fost posibil, s-au indicat în mod concret metodele şi aparatele utilizate pentru anumite măsurări.

Bibliografia a fost dată la sfîrşitul fiecărui capitol cu scopul de a uşura abordarea acesteia în cazul în care anumite probleme ce vor trezi un interes mai mare urmează a fi aprofundate.

Măsurarea celorlalte mărimi ca deplasări, nivel, cantităţi ale componenţilor din gazele de ardere, umidităţi etc., şi tratarea unor metode specifice pentru experimentarea maşinilor şi instalaţiilor termice vor face obiectul volumului II al acestui curs.

Avînd în vedere că este primul curs universitar apărut în limba română cu un astfel de conţinut, fapt datorat introducerii relativ recente a disciplinei în planul de învăţămînt (anul şcolar 1969-1970) unele lipsuri sînt inerente, motiv pentru care autorul va rămîne recunoscător tuturor acelora care, cu sugestiile şi observaţiile pe care le vor face, vor contribui la înlăturarea lor.

Capitolul I

INTRODUCERE

1.1. Obiectul cursului.

Avînd în vedere, aşa cum a sintetizat foarte bine Leopold Infeld, că "Experimentul va rămîne întotdeauna instanţa supremă care decide soarta teoriei", acest curs urmăreşte să deprindă pe studenţi cu problemele practice din cadrul experimentării maşinilor şi instalaţiilor termice.

Deoarece, viitorii specialişti în domeniul maşinilor şi instalaţiilor termice se vor întîlni cu probleme experimentale, atît în uzina constructoare la standurile de încercări unde se încearcă maşina în ansamblu, în laboratoarele din uzine sau institute unde se experimentează fie maşinile termice sau modele ale acestora, fie că se fac cercetări ale unor procese sau fenomene pe diferite instalaţii cît şi în timpul exploatării maşinilor şi instalaţiilor termice, în curs se dau cunoştinţele de bază pentru rezolvarea acestor probleme. In ceea ce priveşte exploatarea, trebuie subliniat că controlul termotehnic al maşinilor şi instalaţiilor termice constituie o condiţie de bază a unei exploatări economice. Pentru acest scop, se utilizează aparate de măsurat care funcţionează permanent sau numai în perioadele de probe. Este important de ştiut că preţul de cost al acestor aparate se recuperează de cîteva ori prin îmbunătăţirea eficacităţii economice a funcţionării acestor maşini şi instalaţii termice.

Ținînd seama de cele menționate mai sus în care se prezintă bazele teoretice și problemele practice ale principalelor metode și aparate întîlnite la experimentarea mașinilor termice. De asemenea, în vederea lărgirii orizontului de cunoștințe, în unele cazuri s-au amintit și metode de măsurare moderne care, deși sînt utilizate în alte domenii pot fi adaptate și la unele măsurări din cadrul mașinilor și instalațiilor termice.

In cadrul cursului nu s-a insistat asupra construcției aparatelor dîndu-se însă pentru unele aparate uzuale care se pot confecționa într-un laborator, unele dintre elementele necesare realizării lor. Funcționarea aparatelor a fost tratată foarte succint dîndu-se uneori numai schema și s-a insistat mai mult asupra procedeelor de măsurare și în prima parte a prelucrării datelor experimentale, a căror însușire aprofundată creează premizele necesare efectuării cercetărilor practice.

1.2. Istoric.

Dat fiind obiectul și conținutul cursului, acest istoric se va referi în special la evoluția ideilor și tehnicii de măsurare pentru cîteva din mărimile mai importante care intervin în cadrul experimentării mașinilor și instalațiilor termice și numai într-o mică măsură se va referi la istoricul mașinilor termice care este cuprins în lucrările care tratează aceste mașini.

Temperatura. Primele instrumente pentru aprecierea calitativă a temperaturii sînt menționate de Filon din Bizanț (sec. III î.e.n.) și Heron din Alexandria (sec.I î.e.n.). Aceste instrumente erau un fel de termoscoape cu care se punea în evidență încălzirea sau răcirea aerului dintr-un balon.

După mai bine de 1500 de ani de stagnare în acest domeniu, de altfel ca și în multe alte domenii, prin publicarea în anul 1575 a "Pneumaticelor" lui Heron, se readuc la modă aceste instru-

mente. Astfel, se pare după unii autori [2], că Galileo Galilei redescoperă termoscopul construind el însuși unul din sticlă umplut cu apă și aer.

J. Leurechon introduce pentru prima dată denumirea de termometru în anul 1624. Această denumire era însă improprie deoarece aceste instrumente erau sensibile nu numai la variații de temperatură, ci și la cele ale presiunii atmosferice.

Primul instrument sensibil numai la variații de temperatură, adică primul termometru a fost realizat la Florența la curtea lui Ferdinand II mare duce de Toscana în jurul anului 1654. Drept lichid termometric a fost utilizat alcoolul diluat ("Spiritul vinului") și instrumentul era sigilat pentru a împiedica evaporarea.

Deși au mai fost realizate și alte termoscoape în prima jumătate a secolului XVII, descrise de diferiți autori ai epocii, totuși unele investigații experimentale ce se făceau în diferite domenii ca biologia, medicina, fizica, metrologia etc., reclamau determinări de temperaturi cu precizie mai mare. Se simțea necesitatea introducerii unei scări termometrice. Astfel, Christian Huygens scria într-o scrisoare datată 2 ianuarie 1665: "Ar fi bine să avem un universal și determinant standard pentru cald și rece care să asigure o proporție între capacitatea bulbului și a tubului și atunci să luăm pentru început punctul rece la care apa începe să înghețe sau mai bine temperatura apei care fierbe". De asemenea, în anul 1665, Robert Boyle arată că este necesar să se măsoare cu termometrul la fel cum se măsoară alte mărimi ca timpul, distanța și greutatea.

Santario preocupîndu-se de măsurarea temperaturii corpului omenesc utilizează încă înainte de anul 1612 o scară termometrică a cărei puncte extreme sînt definite de temperatura zăpezii și a flăcării unei lumînări, intervalul fiind împărțit în mod

uniform cu subdiviziuni zecimale.

Printre acei care s-au preocupat de realizarea unei scări termometrice se pot aminti : Robert Hooke care în anul 1664 fixează punctul zero la termometrul său în dreptul nivelului lichidului atunci cînd bulbul este introdus în apă distilată îngheţată, L. Magalotti de la Academia del Cimento[x] care descrie în anul 1667 construcţia unei scări termometrice împărţită în zece părţi egale, Carlo Renaldini din Padua care fixează în anul 1694 punctul de topire a gheţii şi punctul de fîrbere a apei ca puncte extreme a scării şi împarte acest interval în 12 părţi egale şi Newton care alege pentru scara de temperatură definită în anul 17o1, punctul de topire a gheţii, pe care l-a marcat cu zero şi punctul corespunzător temperaturii de la subsuoara unui bărbat sănătos, pe care l-a marcat cu 12, intervalul fiind împărţit de asemenea la 12.

Daniel Gabriel Fahrenheit meşteşugar din Amsterdam care se ocupa cu contructia termometrelor din anul 17o6, stabileşte în anul 17o9 scara termometrică care îi poartă numele. Deşi Boullian introduce pentru prima dată mercurul în calitate de lic hid termometric, totuşi, răspîndirea termometrului cu mercur începe în anul 172o şi i se datoreşte de asemenea lui Fahrenheit.

O scară termometrică care s-a utilizat în unele ţări pînă la începutul secolului XIX-lea este denumită pe nedrept scara Réaumur, deoarece cel care a introdus-o în anul 1772 sub forma corectă era genovezul J.A.Deluc. Naturalistul francez Réaumur îşi grada termometrele printr-un studiu al dilatării lichidului şi cu ajutorul unei calibrări îngrijite a tubului, pornind de fapt de la un singur punct fix (0^0 corespunzînd îngheţării apei)[1].

---

x) Contribuţia însemnată a acestei Academii la progresul termometriei i-a adus o mare celebritate.

O altă scară termometrică larg răspîndită care poartă numele fizicianului suedez Anders Celsius, este scara centezimală tradiţională. Celsius propune în anul 1742 drept puncte fixe ale scării, zero pentru punctul de fierbere a apei şi loo pentru punctul de topire a gheţii iar în 1743, în mod independent, J.P.Christian din Lycn, propune de fapt scara termometrică sub forma în care ea este cunoscută, astăzi [2].

Spre sfîrşitul secolului XVIII perfecţionările termometrelor se datoresc în special meteorologiei. Astfel, apar termometrele de maxim şi minim iar în anul 1795 termometrul cu înregistrare a lui A.Keith. In anul 1782 J. Wedgwood construieşte un pirometru pentru determinarea temperaturii cuptoarelor; acesta este bazat pe dilatarea unor mici cuburi de argilă.

Studiul proprietăţilor elastice ale gazelor de către diverşi cercetători a făcut posibil ca în anul 1848 Lord Kelvin să introducă scara termodinamică absolută, care bazată pe proprietăţile "gazelor perfecte" va înlătura ultimile dificultăţi în ce priveşte noţiunea de temperatură.

Avînd în vedere că multe instrumente de măsurarea temperaturii folosesc ca traductor termocuplul, trebuie amintit şi de efectul termoelectric descoperit de Thomas Johann Seebeck, în anul 1822.

In continuare trebuie amintite studiile întreprinse de Lambert, Planck, Kirchoff, Wien, Boltzmann etc., în domeniul radiaţiei termice care au permis să se realizeze diferite tipuri de de pirometre optice.

Presiunea. Deşi aerul sub presiune era utilizat pentru alimentarea cuptoarelor din cele mai vechi timpuri (epoca bronzului) iar în antichitate Ctesibius (sec. III î.e.n.) şi Heron (sec.I î.e.n.) îl utilizau pentru acţionarea unor mecanisme ingenioase, totuşi, nu exista o concepţie asupra presiunii şi deci, evident,

nici preocupări pentru măsurarea ei.

Abia în anul 1643 vidul este demonstrat în mod practic; pînă atunci el constituia o problemă filozofică care trebuia rezolvată prin argumentare.

Evanghelista Toricelli, continuînd lucrările lui Galilei referitoare la explicaţia imposibilităţii pompelor aspiratoare obişnuite de a aspira apa de la adîncimi mai mari ca 9,75 m are ingenioasa idee, în anul 1643, lucrînd cu mercur în loc de apă, de a răsturna un tub cu mercur într-un vas cu mercur. In tubul răsturnat mercurul nu se ridică la o înălţime mai mare ca 76 cm. El a explicat cu curaj că presiunea aerului este aceea care ţine în echilibru coloana de mercur.

Blaise Pascal în anul 1647 repetînd experienţa lui Toricelli pe vîrful unui munte şi la baza acestuia constată diferenţe în înălţimea coloanei de mercur adică constată diferenţe în presiunea atmosferică. El denumeşte acest prim instrument de măsură a presiunii aerului atmosferic, barometru. Disputele legate de barometru au condus la experienţele lui Boyle asupra compresibilităţii şi elasticităţii aerului (1661). Această lege a permis perfecţionarea compresoarelor şi a manometrelor.

Relativ la evoluţia sensului fizic al concepţiei despre presiune, trebuie amintit că în aceeaşi perioadă, Robert Hooke care atunci se afla în serviciul lui Boyle considera că presiunea unui gaz închis este rezultatul ciocnirilor unui mare număr de particule cu mişcare independentă de pereţii vasului în care gazul este închis. Daniel Bernoulli dezvoltă în anul 1738 teoria impactului pentru presiunea gazului. In anul 1811, Amedeo Avogadro menţionează că volume egale din gaze pure, indiferent de natura lor, conţin acelaşi număr de molecule, la temperaturi şi presiuni egale. Acest număr, determinat mai tîrziu ($N = 2{,}69 \cdot 10^{19}$ molecule/cm^3 la 0°C şi 1 atm), atestă intuiţia lui Hooke şi Bernoulli referitoare la numărul mare de particule într-o probă de gaz sub condiţii uzuale.

Mai tîrziu, într-un interval scurt de timp (1847-1859), James Prescott Joule, Rudolf Clausius şi James Clark Maxwell dezvoltă teoria cinetică a presiunii gazelor, după care, presiunea este privită ca măsura energiei cinetice totale a moleculelor şi anume:

$$P \equiv \frac{2}{3} \frac{k.E}{V} = \frac{1}{3} \cdot \rho \cdot c^2 = N R T$$

Relativ la evoluţia instrumentelor pentru măsurarea presiunii trebuie menţionat că după descoperirea barometrului încep să se utilizeze tuburile U cu lichid.

Un aparat legat de evoluţia maşinilor termice este indicatorul mecanic de presiune Watt, apărut în anul 1793.
Mai tîrziu, în anul 1849 Eugéne Bourdhon construieşte un manometru care conţine pentru prima dată un element elastic pentru măsurarea presiunii. Elementul elastic era confecţionat dintr-un tub de alamă cu două spire, cu secţiune eliptică [4]. Apoi, în anul 1862 Schäffer şi Budenberg construiesc un manometru metalic cu membrană [8].

Un aparat pentru determinări foarte precise de presiuni absolute scăzute, a fost descris de H.Mac Leod, în anul 1874.

Un alt tip de manometru foarte precis, utilizat atît pentru etalonări, cît şi pentru măsurări, este manometrul cu piston şi greutăţi conceput în anul 1826 de J.Perkins şi perfecţionat în anul 1893 de Amagat.

Posibilităţi noi de dezvoltare viitoare a instrumentelor electrice de măsurare a presiunii, sînt deschise prin descoperirea în anul 188o de către fraţii Curie, a efectului piezoelectric.

Timpul. Printre cele mai vechi instrumente cunoscute pentru determinarea orei în timpul nopţii se număra merkhet-ul, bazat pe corelaţia dintre poziţia fantei aparatului , direcţia unui fir cu plumb ţinut de un asistent al observatorului şi poziţia relativă dintre liniile verticale duse prin diferite porţiuni ale corpului asistentului şi ale unor anumite stele.

In timpul zilei egiptenii determinau ora, încă din cele mai vechi timpuri, cu ajutorul mărimii umbrei.

O inscripţie din jurul anului 158o î.e.n. menţionează orologiile cu apă, pe care grecii le vor numi mai tîrziu clepsidre. Aceste clepsidre se perfecţionează continuu pînă în evul mediu.. In secolul II î.e.n. Ctesibiu a construit o clepsidră prevăzută cu o roată acţionată de apa care se scurgea şi care punea în mişcare acele unui cadran.

Se pare că primele ceasornice mecanice apar în secolul XI.

De numele lui Nicolaus Cusanus, care are meritul că pe la mijlocul secolului XV caută să justifice introducerea măsurării în fizică, este legată măsurarea, cu un fel de clepsidră cu apă,de intervale de timp în care au loc unele procese (durata căderii unui corp, etc.).

Unele izvoare îi atribuie lui Galilei descoperirea izocronismului oscilaţiilor pendulului, în anul 1583, însă adevărata lege a proporţionalităţii pătratului perioadei cu lungimea firului apare în corespondenţa sa abia în anul 1637. In anul 1641 , Galilei şi-a expus dorinţa de a utiliza pendulul pentru reglarea ceasornicului.

Huygens, în dorinţa obţinerii unui pendul izocron, înlocuieşte pendulul circular cu pendulul cicloidal, construind chiar ceasornice cicloidale în anul 1657.

Nevoile navigaţiei au impus perfecţionarea ceasornicelor prin introducerea regulatorului , la care "spirala reglantă este

un resort spiral solidar cu o masă oscilantă în formă de inel circular, balansierul " [1] . Acest dispozitiv, propus de Huygens în anul 1675, a fost adoptat la ceasornicele de marină de Leroy şi Berthoud în Franţa şi Harisson în Anglia.

In jurul anului 177o este rezolvată şi problema perfecţionării ankerului în scopul asigurării unei reacţii constante a acestuia asupra regulatorului . In acea perioadă, a fost deja posibilă construirea unor cronometre marine la care mersul zilnic pentru perioade de cîteva luni , nu varia decît cu cîteva secunde.

In evoluţia mijloacelor pentru măsurarea timpului, trebuie menţionat şi motorul cu histerezis realizat în anul 1915 de H.E.Warren.

Viteza şi Debitul. Măsurarea vitezei curentului de lichid a constituit o preocupare încă din cele mai vechi timpuri. Deşi n-a rămas nimic scris, se pare după unii autori [2] , că inginerii romani specializaţi în construcţia de apeducte puteau să stabilească viteza curentului cu ajutorul orificiilor.

Pentru măsurarea vitezei şi debitului, o deosebită importanţă prezintă principiul continuităţii, care poate fi atribuit lui Leonardo da Vinci în anul 15o2.

In continuare trebuie amintit de Isaac Newton care a observat primul că viteza calculată la scurgerea printr-un orificiu este de cca $\sqrt{2}$ ori mai mare ca viteza reală măsurată şi tot dînsul a fost primul care a atribuit această diferenţă contracţiei jetului.

Mai tîrziu, în anul 1748, Daniel Bernoulli stabileşte teorema referitoare la constanţa sumei dintre energia cinetică şi potenţială pentru un fluid în curgere, teoremă pe care se bazează funcţionarea multor instrumente pentru măsurarea debitului şi respectiv a vitezei.

Jean Charles Borda introducînd în anul 1766 conceptul tubului elementar de curent, arată că la scurgerea prin orificii mici pe lîngă contracţia jetului, care influenţează viteza de curgere,mai intervine o pierdere de energie care însoţeşte curgerea.

Relativ la instrumentele de măsurare trebuie amintit tubul Pitot descris pentru prima dată de Henri Pitot în anul 1732 şi memoriul scris în anul 179o de Reinhard Woltman în care propune adaptarea anemometrului ca mulinetă hidrometrică punînd şi bazele calculului respectiv.

Un pas înainte în evoluţia instrumentelor de măsurare a vitezei şi debitului îl constituie experienţa lui J.B.Venturi în 1797, care constată existenţa unei căderi de presiune la scurgerea lichidului printr-un ajutaj convergent-divergent. Bazat pe acest fenomen, Clemens Herschel introduce în anul 1895, tubul Venturi pentru măsurarea debitului. In această evoluţie mai trebuiesc amintite experienţele lui Julius Weisbach care, la mijlocul secolului XIX s-a ocupat în lucrările sale de pierderile care intervin la scurgerea fluidelor, de coeficienţii de contracţie şi de alţi factori care intervin în acest proces.

Referitor la metodele electrice de măsurare a vitezei şi debitului se amintesc încercările făcute de Faraday la începutul secolului XIX pentru măsurarea debitelor cu ajutorul metodelor electromagnetice şi anemometrul cu fir cald a căror baze sînt puse de L.V.King în anul 1913.

Maşinile termice. Cîteva din realizările deosebite în evoluţia maşinilor termice sînt redate în următorul tablou cronologic.

Anul	Realizarea	Inventatorul
169o	Maşina cu vapori (cazanul şi cilindrul monobloc)	Papin
1712	Maşina cu aburi separată de cazan.	Newcoman
1791	Brevetul unei turbine cu gaze.	John Barber
18o1	Descrierea proiectului unui motor cu gaz.	Philippe Le Bon
181o	Prima maşină de fabricat gheaţă.	Leslie
1832	Lucrările lui Sadi Carnot sînt scoase la iveală de către	Clapeyron
1834	Incepe folosirea practică a maşinilor frigorifice înlocuindu-se apa (în calitate de agent frigorific) cu alte fluide ca eterul etilic.	Perkins
1856	Incepe perioada de mare progres în construcţia cazanelor de aburi.	
186o	Motorul Lenoir. Ciclul în doi timpi fără compresie.	Lenoir
1862	Brevet asupra ciclului în 4 timpi.	Beau de Rochas
1878	Motor prezentat la expoziţia universală de la Paris.	Otto
1883	Prima turbină cu aburi (cu acţiune).	Gustav Laval
1884	Turbina cu trepte de presiune (cu reacţiune).	Charles Pearsons

Anul	Realizarea	Inventatorul
1892-1897	Realizarea motorului cu ardere la presiune constantă.	Diesel
1896	Turbina cu trepte de viteză.	Curtiss
1910	Primul zbor al unui avion echipat cu motoare cu reacţie.	H.Coandă
1922	Brevet asupra generatorului de gaz cu pistoane libere tip Pescara.	Pescara
1923	Generator de abur cu străbatere directă tip Benson.	Benson
1957	Lansarea primului satelit artificial în jurul pămîntului, de către U.R.S.S., cu ajutorul motoarelor rachetă.	

Din acest tablou se observă că marile realizări în domeniul maşinilor termice încep cu maşina cu abur la începutul secolului XVIII, motorul cu ardere internă la mijlocul şi sfîrşitul secolului XIX, turbina cu aburi la sfîrşitul secolului XIX, maşina frigorifică cu compresie de vapori de agent altul decît apa către mijlocul secolului XIX etc.

Dacă pînă la stabilirea bazelor termodinamicii,mijloacele experimentale existente nu puteau rezolva problemele teoretice, odată cunoscute aceste legi, experimentările au putut fi orientate judicios înspre măsurarea parametrilor importanţi de care depindea economicitatea acestor maşini. Tehnica experimentală începe să contribuie la perfecţionarea acestor maşini, iar progresul realizat cere tehnici de măsurare din ce în ce mai precise. Astfel, dacă urmărim această interdependenţă pînă în prezent, constatăm că studiul experimental al unor procese

din maşinile termice necesită utilizarea trasorilor radioactivi, striografiei interferenţiale, holografiei, fototermometriei, instalaţiilor piezoelectrice, frînelor electrice cu curenţi Foucault Pentru a încheia acest capitol, vom aminti de rachetele actuale de puteri considerabile capabile să iasă din sfera de atracţie a gravitaţiei planetei noastre, care reprezintă o întruchipare a celor mai mari realizări în domeniul maşinilor termice.

BIBLIOGRAFIE

1. x x x — Istoria generală a ştiinţei. Ed.ştiinţifică, Bucureşti, vol.I, 197o şi vol.II, 1971.

2. Benedict, P.Robert. — Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurements. Ed.J.Wiley & Sons, New-York, 1969.

3. Bernal, J.D. — Stiinţa în istoria societăţii. Ed.Politică, Bucureşti, 1964.

4. Penescu,T. şi Petrescu, V. — Măsurarea presiunii în tehnică. Ed.Tehnică, Bucureşti, 1968.

5. Troskolanski,T.A. — Théorie et practique des mésures hydraulique. Ed. Dunod, Paris.

6. Payen, J. — Les moteurs à combustion interne. Ed.Gauthier - Villars, Paris, 1964.

7. Grecu, T. — Turbine şi turbocompresoare. Vol.I, Ed.didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1965.

8. Tölle H. — Măsurări în instalaţiile termice. Ed.tehnică, Bucureşti, 1972.

Capitolul 2

NOTIUNI DE METROLOGIE GENERALA

2.1. Generalităţi

Dezvoltarea ştiinţei şi tehnicii în general şi a maşinilor termice în particular este în permanenţă legată de dezvoltarea tehnicii măsurărilor.

In progresul lor, ştiinţa şi tehnica de o parte şi metrologia pe de altă parte se ajută mutual în sensul că beneficiază reciproc de progresele lor. Fiecărui pas al uneia, îi corespunde un progres al celeilalte.

Metrologia are un rol foarte important în industrie. Astfel, ea asigură efectuarea diferitelor măsurări în laboratoarele uzinale şi la standurile de încercări iar în timpul fabricaţiei asigură identitatea formei, aspectului şi proprietăţilor, adică interschimbabilitatea.

Ea este de asemenea un factor de securitate; măsurarea este garanţia rezistenţei mecanice a pieselor, a stabilităţii avionului, a mersului normal al centralei electrice.

Fără a insista asupra metrologiei ştiinţifice şi industriale (sau tehnice) trebuie menţionat că, prima are rolul de a pune la dispoziţie mijloacele de măsurare, care să conducă la stabilirea valorii adevărate a mărimii, pe cînd a doua are rolul de a verifica dacă mărimea se menţine între anumite toleranţe admisibile.

Dacă în trecut aparatele de măsurare dădeau direct măsura, astăzi acest lucru se întîmplă mult mai rar deoarece foarte multe rezultate se obţin prin asocierea mai multor măsurări. De aici rezultă tendinţa actuală de a solicita intervenţia unui mare număr de aparate şi instrumente reunite în mod convenabil între ele, care, furnizînd indicaţiile lor la un operator însărcinat cu tratarea informaţiei furnizate, o va putea restitui sub o formă ameliorată. Această ultimă funcţiune este încredinţată calculatoarelor analogice şi calculatoarelor numerice.

Pentru a obţine un rezultat al unei măsurări, în cazul cel mai general, se va folosi un lanţ de măsurare constituit dintr-o reţea de captori pentru transmisia şi recepţia informaţiei.

Pentru noţiunea de măsură, se adoptă următoarea definiţie: "ansamblul operaţiilor care constau în : solicitarea, obţinerea, transmiterea şi culegerea (observarea şi înregistrarea) unei informaţii care exprimă starea unei mărimi, informaţie care este ulterior prelucrată, codificată sau necodificată pentru ca în final să fie introdusă în memorie sau să rămînă la dispoziţia experimentatorului, care o confruntă cu ipotezele sale, fie este introdusă într-o maşină, care realizează o operaţie fizică" [1].

La o mărime oarecare care se măsoară, se disting felul sau calitatea mărimii, pe de o parte şi măsura mărimii care exprimă cantitatea, pe de altă parte.

In funcţie de sursa pentru furnizarea energiei necesară măsurării, se disting măsurări la care energia este furnizată de către o sursă exterioară şi măsurări la care energia

este furnizată de către mediul a cărei mărime se măsoară.

2.2. Măsurare. Clasificarea măsurărilor

Prin măsurare se înţelege determinarea experimentală a raportului numeric dintre mărimea fizică de măsurat şi o mărime de acelaşi fel, adoptată ca unitate de măsură.

Dacă se notează cu Q - mărimea ce trebuie măsurată, cu U - unitatea de măsură, şi cu q - raportul numeric căutat sau valoarea mărimii măsurate exprimate în unitatea adoptată, rezultatul măsurării poate fi exprimat prin egalitatea :

$$Q = q \cdot U \qquad (2.1)$$

Aceasta este ecuaţia de bază a măsurării şi din ea rezultă că, valoarea lui q depinde exclusiv de unitatea de măsură adoptată, U .

In cazul în care se utilizează o altă unitate de măsură U_1, se va obţine următorul rezultat al măsurării.

$$Q = q_1 \cdot U_1 \qquad (2.2)$$

Din ecuaţiile (2.1) şi (2.2) rezultă egalitatea :

$$q_1 = q \frac{U}{U_1} \qquad (2.3)$$

Concluzia este că, pentru a trece de la rezultatul măsurării q, exprimat în funcţie de unitatea de măsură U , la un alt rezultat exprimat în funcţie de o altă unitate de măsură U_1, este necesar să se înmulţească valoarea lui q cu raportul dintre unităţile de măsură adoptate.

Totuşi, măsurarea nu poate fi considerată întotdeauna ca un proces de comparare directă a mărimii de măsurat cu mă-

sura, ca de exemplu la măsurarea lungimilor şi a altor mărimi.

In unele cazuri este imposibil să se compare direct mărimea cu măsura ei şi măsurarea poate fi realizată numai prin compararea cu o altă mărime fizică legată univoc de măsură.

Măsurările efectuate , sînt foarte variate şi clasificarea lor se poate face după diferite criterii : în funcţie de natura mărimii de măsurat, de condiţiile în care se efectuează măsurarea, precizia necesară pentru măsurare etc. Interesul cel mai mare îl prezintă clasificarea din punct de vedere al modului de obţinere a valorii numerice a mărimii de măsurat.

Din acest punct de vedere toate măsurările pot fi împărţite în trei categorii: măsurări directe, măsurări indirecte şi măsurări combinate.

Măsurările directe sînt acelea al căror rezultat se obţine direct, în mod experimental. Dintre măsurările directe larg întîlnite în tehnică, trebuie menţionate: măsurarea lungimii cu ajutorul metrului, măsurarea temperaturii cu termometrul, măsurarea presiunii cu manometrul etc.

Măsurările indirecte sînt acelea la care rezultatul se obţine prin măsurarea directă a mai multor mărimi legate de mărimea căutată printr-o anumită ecuaţie.

In cazul măsurării indirecte, valoarea numerică a mărimii de măsurat se calculează cu relaţia :

$$Y = f(X_1, X_2, X_3 \ldots . X_n) \qquad (2.4)$$

în care Y este valoarea mărimii de măsurat ;

$X_1, X_2, \ldots, X_n$ - valorile mărimilor determinate prin măsurare directă.

Ca exemplu de măsurare indirectă se poate aminti măsurarea debitelor fluidelor prin măsurarea căderii de presiune cu dispozitivele de laminare.

Măsurările indirecte constituie categoria cea mai numeroasă de măsurări.

In categoria măsurărilor combinate intră măsurările compuse dintr-o serie de măsurări directe ale uneia sau mai multor mărimi de acelaşi fel. In acest caz o operaţie de măsurare diferă de cealaltă prin aceea că se schimbă, fie condiţiile de măsurare, fie combinaţia mărimilor de măsurat. Aceste măsurări complexe se întîlnesc destul de rar şi numai în practica de laborator.

In afară de clasificarea amintită mai sus, se mai întîlneşte şi o altă clasificare ce prezintă interes şi anume : măsurări de laborator şi măsurări tehnice.

Prin măsurări de laborator se înţeleg acele măsurători în cursul cărora se ia în considerare şi se determină eroarea măsurării, iar prin măsurări tehnice se înţeleg măsurătorile în care nu este necesară determinarea erorii de măsurare, deoarece aparatul sau instrumentul de măsurat are o eroare limită determinată, suficient de mică pentru scopul practic urmărit.

La efectuarea unei măsurări experimentatorul are de ales între mai multe metode pentru a rezolva problema, adică pentru a ajunge la un rezultat cît mai apropiat de valoarea reală.

2.3. Lanţ de măsurare

Aşa cum s-a amintit anterior, la efectuarea unei măsurări se foloseşte un lanţ de măsurare cu care semnalul este modelat permanent pentru ca operaţiile de prelevare de o parte,

şi cele pentru lectura mărimii de altă parte, să se efectueze în cele mai bune condiţiuni.

Elementele care efectuează aceste operaţiuni succesive de modelare a semnalului se denumesc, în general, traductoare.

Prin analogie cu schemele utilizate de electronişti se redă în fig. 2.1 schema funcţională a unui lanţ de măsurare.

După caz, lanţul poate fi deschis sau închis. El este deschis cînd măsurarea se face prin metoda deviaţiei, de asemenea, el poate eventual comporta ramificaţii ca de exemplu atunci cînd necesită energie de activare sau cînd se amplifică semnalul cu ajutorul unei surse de energie exterioară.

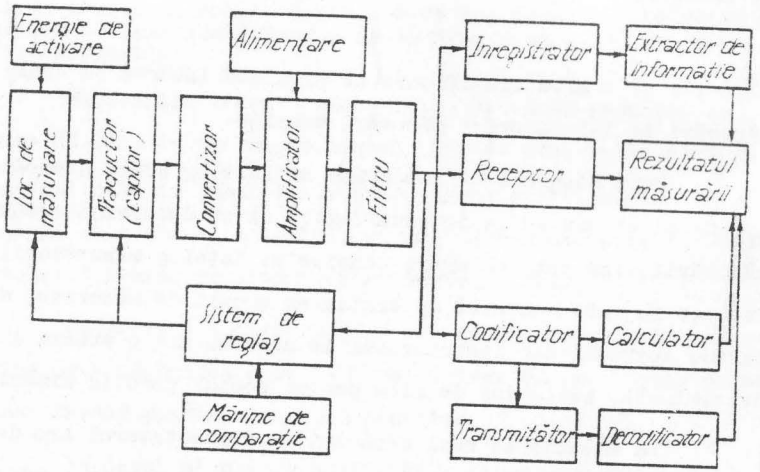


Fig.2.1. Lanţ de măsurare

El este buclat sau închis cînd măsura se face printr-o metodă de zero. In acest caz trebuie să existe un sistem de reglaj manual sau automat,necesar pentru readucerea sistemului la echilibru,în vederea obţinerii valorii mărimii.

Traductoarele care intră în componenţa unui lanţ de măsurare sînt numeroase şi variate; se disting următoarele :

- captorii (traductorii) care preiau semnalul de la locul de măsurare; aceştia trebuie să fie sensibili la mărimea de măsurat;

- traductorii, în general, care modifică structura semnalului furnizat de către captori; aceştia poartă de obicei numele de convertizori;

- elemente pentru mărirea semnalului care pot fi de două feluri :

a)transformatoarele electrice de tensiune, pîrghiile mecanice, sistemele optice (microscoape sau proiectoare) cunoscute în general sub denumirea de transformatoare;

b) amplificatoarele, care furnizează sistemului energie prelevată din exterior.

- filtrele care modifică forma semnalului pentru a-l face convenabil circuitului de măsurare ales prin schemă;

- codificatorii care transformă o mărime de intrare analogică într-o mărime de ieşire numerică;

- transcodificatorii care fac trecerea de la un cod la altul;

- decodificatorii care preiau valori numerice şi furnizează valori analogice;

- înregistratorii sau memoriile care păstrează rezultatul măsurării sau traseul măsurării între momentul în care se manifestă şi momentul în care poate fi studiat;

- extractorii de informaţii care extrag conţinutul informaţional de la înregistratori; aceştia pot avea o funcţio-

nare automată, semiautomată sau manuală;

- receptorii care furnizează măsura sînt constituiţi din scări gradate pe care se deplasează un element mobil sau din tablouri cu afişarea numerică a rezultatului; acestea se mai numesc şi dispozitive de lectură;

- calculatorii, care exploatează una sau mai multe măsurări simultane sau decalate în timp şi care pot efectua operaţii de adunare, scădere, multiplicare, împărţire, ridicare la putere, integrare, diferenţiere, analiză armonică, corelare etc.

2.4. Metode de măsurare

2.4.1. Clasificarea metodelor de măsurare

La efectuarea unei măsurări, experimentatorul are de ales între mai multe metode pentru a rezolva problema, adică, pentru a ajunge la un rezultat cît mai apropiat de valoarea reală.

Diversitatea metodelor de măsurare face ca ele să poată fi clasificate din mai multe puncte de vedere, dintre care distingem :

- forma de exprimare a măsurii (măsurări analogice şi măsurări numerice);

- tehnica măsurării (măsurări prin deviaţie , comparaţie, sumare);

- modul de referire la originea măsurării după care rezultatul poate avea o valoare absolută, dacă se ia pentru originea măsurării valoarea zero sau măsurarea diferenţială, caz în care se ia ca origine o bază de comparaţie arbitrară a cărei valoare n-o putem ignora.

2.4.2. Măsurări analogice

In măsurările analogice semnalul care circulă în lanţul de măsură şi poartă informaţia este legat de mărimea de măsurat printr-o lege continuă, ca o funcţie algebrică. Dacă receptorul aşezat la capătul lanţului de măsurare este prevăzut cu un ac indicator, acesta se va deplasa continuu, urmărind variaţia mărimii ce se măsoară.

Prin această operaţie de lectură a rezultatului se transformă indicaţia analogică într-un număr.

Măsurările analogice sînt cele mai frecvente. Desfăşurarea măsurării se efectuează corect, dacă între rezultat şi valoarea mărimii de măsurat există o corespondenţă biunivocă. Aceasta se prezintă într-o manieră simplă, dacă legea de corespondenţă este liniară, de forma $y = a x + b$ sau proporţională, $y = a x$.

2.4.3. Măsurări numerice

In acest caz, operaţia de măsurare se termină, în general, prin obţinerea unui număr care serveşte experimentatorului pentru verificarea ipotezelor propuse. Numărul poate apare şi în interiorul lanţului de măsurare, metoda prezentînd avantajul, în raport cu mărimile analogice, unei transmiteri a acestuia fără eroare şi fără pierderea informaţiei.

Mijloacele de exprimare a numerelor sînt numeroase. Ele sînt la origine legate de sistemele aritmetice de numărare cu bază întreagă; altele sînt posibile şi au fost studiate pentru atenuarea defectelor sistemelor simple. Se pot aminti printre altele: codul binar (cu baza 2), codul ternar (cu baza 3), codul zecimal, codul ciclic, codul binar zecimal etc.

2.4.4. Metoda de măsurare prin deviație

Aceasta este metoda analogică, care constă în obținerea deviației unui sistem dintr-o poziție de echilibru pe care a ocupat-o în lipsa semnalului generat de mărimea de măsurat, într-o nouă poziție de echilibru ocupată în prezența semnalului generat de mărimea de măsurat. Intervalul dintre aceste două poziții de echilibru furnizează mai mult sau mai puțin direct rezultatul măsurării.

Lanțul de măsurare în acest caz este drept și simplu și nu comportă bucle ca la metode de zero.

Metoda poate fi de deviație, sau de elongație simplă, dacă cele două poziții de echilibru sînt pur geometrice, în sensul că ele nu pun în joc un echilibru particular de forțe. Un exemplu tipic ar fi măsurarea unei lungimi cu un șubler.

In metoda elongației și echilibrului spontan, pozițiile de echilibru sînt rezultatul unei opoziții între două forțe egale.

Astfel, în cazul galvanometrului, echilibrul este creat la egalarea cuplului produs de forțele electromagnetice și de cel produs de torsiunea firului de suspensie a cadrului.

Printre aparatele utilizate în cadrul acestei metode se amintesc: balanțele, manometrele cu tub Bourdon, barometrele cu mercur, termometrele cu gaz la volum constant, debitmetrele de tip rotametric etc.

La aplicarea acestei metode trebuie ținut seama de următoarele recomandări :

- să se verifice poziția de zero în lipsa acțiunii mărimii ce se măsoară;

- în cazul existenței unei mărimi de activare să se asigure constanța acesteia;

- să se verifice dacă instrumentul de măsură utilizat nu modifică deloc mărimea care se măsoară;

- să se aștepte stabilirea echilibrului.

2.4.5. Metoda de măsură prin comparație

Caracteristic acestei metode este alegerea unei mărimi cunoscute, care se compară cu mărimea de măsurat, reglîndu-se astfel, încît să existe egalitatea între ele. Adeseori, mărimea de comparație este opusă mărimii de măsurat, pentru ca suma lor să fie zero. Din acest motiv, acestei metode i se mai spune și metoda de zero.

Dintre schemele principiale de comparație pe care se bazează această metodă, amintim :

- schema de principiu a comparației directe cu mărimea de măsurat, arătată în fig.2.2 ;

- schema de principiu a comparației cu un semnal funcție de mărimea de măsurat, arătată în fig. 2.3 ;

- schema de principiu a unei comparații efectuată în mod automat, arătată în fig. 2.4.

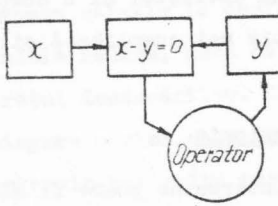


Fig. 2.2. Schema de principiu a comparației directe cu mărimea de măsurat.

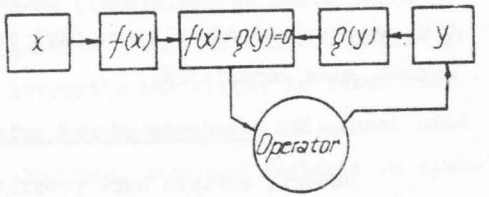


Fig. 2.3. Schema de principiu a comparației cu un semnal funcție de mărimea de măsurat.

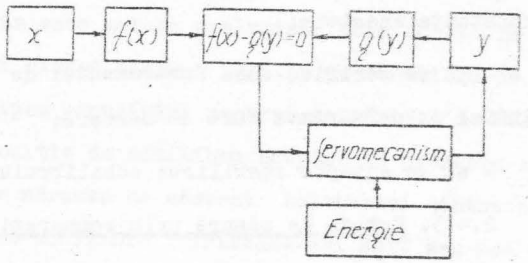


Fig. 2.4. Schema de principiu a comparaţiei efectuată în mod automat.

Dintre măsurările efectuate cu ajutorul acestei metode, amintim: măsurarea potenţiometrică a tensiunii x , măsurarea variaţiei de temperatură cu ajutorul termometrului cu gaz la volum constant, măsurarea vitezei gazelor cu ajutorul anemometrului cu fir cald, măsurările cu ajutorul punţii bazate pe metoda de zero, măsurarea temperaturii cu ajutorul pirometrului optic cu dispariţia filamentului (la această metodă semnalul mărimii de comparaţie se suprapune peste semnalul mărimii de măsurat), măsurarea timpului cu ajutorul baleiajului obţinut,de exemplu, sub forma unor dinţi de ferăstrău descrişi de spotul luminos etc.

Dacă se compară între ele metoda deviaţiei şi a comparaţiei se constată că, ultima, deşi relativ mai complicată şi mai scumpă, este superioară.

2.4.6. Metoda de măsură prin analogie

Uneori, mărimea care prezintă interes nu poate fi măsurată direct. In aceste cazuri, se poate efectua studiul în mod indirect, prin analogie. Distingem în acest caz două cazuri şi anume: analogie directă şi analogie matematică.

Analogia directă o întîlnim atunci cînd, în locul mărimii de măsurat,se substitue o altă mărime direct legată de ea asupra căreia se efectuează măsurarea.

Astfel, în cazul debitmetrului cu ultrasunete se măsoară viteza necunoscută a fluidului cu ajutorul unei viteze cunoscute.

In general, toate fenomenele fizice legate de mărimea studiată pot servi ca bază pentru o măsură analogică.

Analogia matematică o întîlnim în cazurile în care experimentarea directă este imposibilă fie din cauza mărimii utilajului, fie datorită dificultăţilor experimentale (fenomene vibratorii complexe, temperaturi interne etc.). In aceste cazuri se recurge la expresia matematică a fenomenului pentru a-l studia la scară mică pe modele sau la asemănarea între expresiile matematice ale fenomenelor diferite (de exemplu: expresiile fenomenelor vibratorii mecanice şi electrice, expresiile propagării căldurii şi a propagării curentului într-o reţea etc.) realizîndu-se simulatori analogici.

In cazul analogiei matematice trebuie făcută diferenţa între similitudinea simplă şi calculul analogic.

Astfel, dacă se cunosc legile similitudinii geometrice sau mecanice,precum şi alte eventuale condiţii de asemănare impuse relativ la desfăşurarea procesului, se poate lucra pe modele reduse, ceea ce micşorează gabaritul, dificultăţile şi preţul încercărilor. Dacă lucrurile par simple în cazul unei singure mărimi care intră în joc, ele se complică atunci cînd intervin mai multe mărimi simultan, deoarece factorii de similitudine nu sînt aceiaşi pentru diferite mărimi.

Relativ la calculul analogic se menţionează că, dacă legile fenomenelor sînt cunoscute, este posibil să se substi-

tue la un grup de mărimi (de exemplu, mecanice) un alt grup (de exemplu, electrice) mai uşor de introdus în experienţă.

Astfel, din punct de vedere al comportării vibratorii se poate substitui un ansamblu electric (self - rezistenţă - capacitate) în locul unui ansamblu mecanic (inerţie - frecare vîscoasă - elasticitate) ; intensităţii curentului şi tensiunii îi pot corespunde forţa şi viteza etc.

Se menţionează totodată dezvoltarea considerabilă a calculatoarelor analogice electrice şi pneumatice, legată în special de comoditatea lor de folosire. Sub rezerva că ecuaţiile care le dirijează funcţionarea corespund în mod corect fenomenelor studiate, utilizarea lor este preţioasă.

Spre deosebire de această tehnică, care realizează modele analogice în ansamblu cu sistemele studiate, există o altă tehnică care evidenţiază mai direct calculul, fără ca în acest timp să ia formă numerică.

Metoda aceasta constă în realizarea elementelor, cuadripolilor, funcţie de ecuaţiile după care se desfăşoară fenomenele, la care intrarea rămîne variabila x iar ieşirea furnizează o funcţie de x , care corespunde la unul din termenii ecuaţiei :

$$\left(\text{de exemplu } k\,x,\ e^{x},\ \log x,\ \frac{d^{n}}{d\tau^{n}}\,x,\ \int x\,d\tau,\ \ldots\right)$$

Răspunsurile cuadripolilor sînt combinate pentru a obţine soluţia analogică a ecuaţiei, în general, prezentată pe ecranul unui osciloscop. Această metodă este foarte suplă la întrebuinţare deoarece permite să se acţioneze uşor asupra fiecăruia din termenii ecuaţiei luaţi individual şi de a i se nuanţa influenţa.

2.4.7. Măsurări statistice

Cînd măsura trebuie să servească pentru stabilirea unei statistici, un prim mijloc este de a înregistra rezultatele pentru a le face apoi analiza.

Adeseori, se poate asocia la traductor (captor) un calculator analogic simplu, dar mai frecvent, instrumentul de măsură poate fi conceput pentru a furniza direct rezultatul căutat.

Ca exemple de astfel de măsurări se pot menţiona : înregistrarea statistică a sarcinii unui compresor dintr-o staţie de compresoare, înregistrarea statistică a acceleraţiilor etc. Pentru primul exemplu instalaţia de măsurare trebuie să permită măsurarea numărului de ore de funcţionare cu 10o% din sarcină, 9o% . . . independent de momentul funcţionării, pentru un interval de timp stabilit. Pentru al doilea exemplu, dacă ne referim la un avion în zbor, prezintă interes problema de a cunoaşte de cîte ori acesta a suportat o acceleraţie dată. Instrumentul, în acest caz, poartă numele de contor de acceleraţii.

2.5. Caracteristicile principale ale aparatelor şi instrumentelor de măsurare

2.5.1. Măsurările statice, cvasistatice şi dinamice

La măsurările statice mărimea de măsurat rămîne constantă astfel că, aparatul de măsură are la dispoziţie timpul necesar pentru a lua o poziţie de echilibru.

Dacă se notează cu S_o - rezultatul măsurării (mărimea de ieşire) atunci cînd echilibrul a fost atins, şi cu X_o mărimea de măsurat (mărimea de intrare), se defineşte raportul S_o/X_o răspunsul static al instrumentului. Acest raport nu de-

pinde de timp, nu trebuie confundat cu sensibilitatea (dS_o/dX_o) și face obiectul etalonării statice a aparatelor de măsură.

La măsurările cvasistatice variația mărimii de măsurat în timp, $X(\tau)$ este suficient de lentă pentru ca raportul $S(\tau)/X(\tau)$ să rămînă egal cu S_o/X_o. Existînd permanent echilibru între instrument și mărimea de măsurare la aceste măsurări, acestea se comportă la fel ca și măsurările statice.

La măsurările dinamice mărimea de măsurat evoluează rapid și indicația instrumentului rămîne în urma acesteia, astfel că raportul $S(\tau)/X(\tau)$ se îndepărtează atunci de la valoarea statică S_o/X_o .

In fig. 2.5 sînt ilustrate grafic aceste precizări.

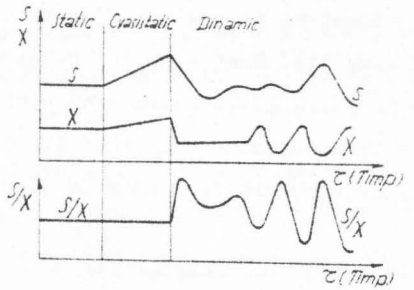


Fig. 2.5. Măsurări statice, cvasistatice și dinamice.

2.5.2. Caracteristicile instrumentelor de măsură

Pentru a putea aprecia un instrument de măsură și a-l prefera altuia este necesar să-i cunoaștem calitățile și defectele sale, dintre care unele, s-ar putea exprima eventual prin cifre.

Printre calitățile mai importante ale instrumentelor

de măsurare se amintesc : domeniul de măsurare, justețea, fidelitatea, sensibilitatea, condițiile de întrebuințare. . . Acestea sînt calitățile determinante în alegerea instrumentului de măsură.

In afara acestor calități care se impun pe plan teoretic, nu trebuie neglijate calitățile care corespund condițiilor practice. Dintre acestea se amintesc : ancombramentul, durata de funcționare, deservirea în funcționare, modul de întrebuințare și costul.

2.5.2.1. Domeniul de măsurare

Domeniul de măsurare al instrumentelor este definit ca diferență între limita superioară și limita inferioară de măsurare.

Inainte de alegerea metodei și a mijlocului de măsurare, experimentatorul trebuie să cunoască, măcar în mare, limitele de variație a mărimii ce trebuie măsurată.

Deoarece domeniul de măsurare are limite diferite de la un mijloc de măsurare la altul, în cazul majorității măsurărilor, rezultă că el trebuie să fie primul parametru de luat în considerație la alegerea unei metode sau mijloc de măsurare.

Domeniul de măsurare poate fi modificat adeseori, acționînd asupra unui comutator al instrumentului. Obișnuim să spunem în aceste cazuri că instrumentul posedă mai multe scări (exemple: unele aparate de măsură electrice, indicatoare de turații mecanice etc.).

Dacă în intervalul domeniului de măsurare mărimea de ieșire este o funcție liniară în raport cu mărimea de măsurat, atunci scara aparatului este liniară, deoarece curba de etalo-

nare este o dreaptă. In cazul cel mai favorabil dreapta trece prin origine şi măsura este proporţională cu deviaţia. Deşi în ambele cazuri sensibilitatea este constantă, riguroziatea obligă în a se face distincţie între liniaritate şi proporţionalitate.

Deoarece foarte rar un instrument posedă o liniaritate perfectă trebuie evaluat uneori intervalul de liniaritate într-o anumită plajă de măsurare. In acest scop se trasează, aşa cum se vede în fig. 2.6, o dreaptă medie A B , în plaja considerată şi alte două drepte A'B' şi A"B" paralele la prima şi simetrice în raport cu aceasta; între dreptele A'B' şi A"B" este cuprinsă curba reală. Intervalul de liniaritate, exprimat în procente, este raportul distanţei dintre dreptele paralele AB-A'B' (sau AB-A"B") şi domeniul de măsurare AB (plaja de liniaritate) măsurată paralel la axele de coordonate. Pentru valorile trecute pe figură acesta este 3/3o sau ± lo%.

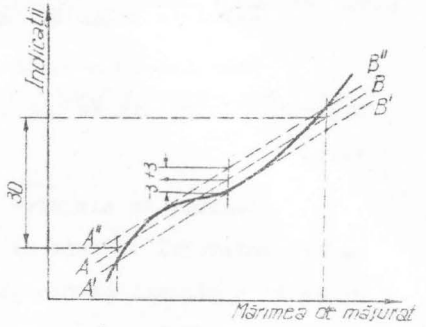


Fig. 2.6. Liniaritatea unui instrument.

2.5.2.2. Justeţea

Justeţea este caracteristica metrologică a unui instrument de măsurat de a da indicaţii cît mai apropiate de valorile efective,[x] făcînd abstracţie de erorile de fidelitate.

---

[x] Valorile efective se obţin cu ajutorul aparatelor etalon şi sînt apropiate de valorile adevărate.

In cadrul unor măsurări, valorile efective pot fi determinate cu aparate etalon, ca de exemplu în cazul măsurării presiunilor, temperaturilor, forţelor etc.

Justeţea caracterizează calitatea aparatului de a indica rezultatele în cadrul măsurărilor cu erori sistematice cît mai mici.

Dacă se notează cu S media aritmetică a indicaţiilor aparatului, dintr-o serie de măsurări în aceleaşi condiţii, şi cu X_e valoarea efectivă a acelei mărimi, eroarea de justeţe, e_j, a unui aparat se determină cu relaţia :

$$e_j = S - X_e \qquad (2.5)$$

Erorile de justeţe se pot elimina în unele cazuri cu ajutorul corecţiilor de justeţe. Corecţia de justeţe este eroarea de justeţe cu semn schimbat şi ea se adună la indicaţia aparatului.

2.5.2.3. Sensibilitatea

Sensibilitatea unui instrument se defineşte ca raportul între deplasarea indicatorului de măsurare şi variaţia mărimii căreia îi corespunde acea deplasare.

Sînt instrumente cu sensibilitate constantă în tot domeniul de măsurare precum şi instrumente cu sensibilitate variabilă în lungul domeniului de măsurare. Astfel, manometrele cu lichid sau cu element elastic au sensibilitatea constantă pe tot domeniul de măsurare şi manometrele cu piston şi greutăţi sau vacuummetrele termoelectrice de presiune absolută joasă au sensibilitate variabilă.

In funcţie de curba de etalonare, se disting următoarele

cazuri :

- dacă curba este oarecare se defineşte sensibilitatea în fiecare punct şi ea se măsoară prin tangenta la curbă în punctul considerat; aceasta este dată de relaţia :

$$s = \frac{dS}{dX} \qquad (2.6)$$

în care dS este variaţia deviaţiei instrumentului de măsurare şi dX variaţia mărimii de măsurat ;

- dacă curba este rectilinie sensibilitatea este dată de raportul dintre lungimea scalei şi domeniul de măsurare ;

- dacă curba este aproximativ rectilinie se poate defini sensibilitatea mijlocie într-un interval dat.

Deoarece sensibilitatea este raportul dintre două mărimi fizice dimensionale, este necesar să se precizeze întotdeauna dimensiunea sensibilităţii pentru a se evita riscul confuziei (cu eroarea).

In cazul unui lanţ de măsurare trebuie ţinut seamă de sensibilitatea lanţului, care se defineşte ca produsul sensibilităţilor fiecărei verigi a lanţului, considerate pentru punctul de funcţionare.

2.5.2.4. Fidelitatea

Fidelitatea este una din calităţile cele mai importante ale instrumentelor de măsurare.

Un instrument de măsură este cu atît mai fidel, cu cît indicaţiile obţinute la măsurarea repetată a unei mărimi în aceleaşi condiţii de măsurare (făcînd abstracţie de erorile sistematice), sînt mai apropiate între ele. Deci, cu cît fidelitatea este mai redusă, dispersia rezultatelor este mai mare. Cauzele acestei dispersii sînt multiple şi anume, unele intrinseci, ca eroare de mobilitate şi eroare datorită histerezisului, iar altele mai mult sau mai puţin extrinseci, ca eroarea de lectură şi eroarea datorită mediului.

Fidelitatea se măsoară prin eroarea de fidelitate.

Eroarea de fidelitate, R , reprezintă diferenţa dintre valoarea cea mai mare $S_{i\ max}$ şi valoarea cea mai mică $S_{i\ min}$ a indicaţiilor obţinute în cazul măsurării aceleiaşi mărimi în aceleaşi condiţii :

$$R = S_{i\ max} - S_{i\ min} \qquad (2.7)$$

2.5.2.5. Precizia

Precizia este calitatea cea mai importantă a instrumentelor de măsură deoarece ea rezumă de fapt pe toate celelalte.

Precizia este calitatea globală a unui instrument.

Precizia unui instrument de măsurare este cu atît mai mare cu cît pentru o valoare dată a mărimii de măsurat, diferenţele dintre rezultatele măsurărilor , luate individual, şi valoarea reală dată (uneori efectivă) sînt mai reduse.

Eroarea de precizie, asimilată practic în valoare, cu eroarea de măsurare, este eroarea globală a aparatului; aceasta cuprinde atît eroarea de justeţe cît şi eroarea de fidelitate.

Pentru a ilustra mai bine noţiunile de fidelitate, justeţe şi precizie se redau în fig.2.7 rezultatele obţinute la o tragere la tir.

Eroarea de precizie, Δ , se exprimă conform notaţiilor anterioare, prin suma :

$$\Delta = ej + R \qquad (2.8)$$

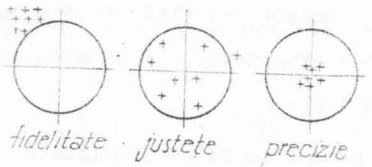


Fig. 2.7. Fidelitate, justeţe şi precizie pentru o tragere la tir.

La majoritatea aparatelor de măsură este suficient să se stabilească un anumit grad de precizie inferior unei valori limită reprezentată de eroarea tolerată. Prin eroare tolerată se înţelege eroarea de indicaţie a unui aparat, admisă de prevederile unui standard, ale unei instrucţiuni de verificare sau unei norme interne ; eroarea totală se exprimă cu semnul ± pus înaintea sa.

In cazul unor aparate de măsurare, eroarea tolerată poate conţine însă şi erori sistematice, cauzate de exemplu de neuniformitatea inevitabilă a procesului de fabricaţie sau ca în cazul termometrelor, cauzate de efectul de îmbătrînire. Se menţionează că aceste erori sistematice sînt admise numai dacă indicaţia aparatului rămîne în limita erorilor tolerate, raportate la indicaţia unui aparat etalon. In unele cazuri, aceste erori sistematice se îndepărtează prin regradare sau prin stabilirea corecţiilor faţă de un aparat etalon.

O caracteristică deosebit de importantă a instrumentelor de măsurare este clasa de precizie.

2.5.2.5.1. Clasa de precizie

Clasa de precizie este raportul dintre eroarea absolută luată cu semnele ± , presupusă constantă în tot domeniul de măsurare şi domeniul de măsurare.

Fiind vorba de un număr fără dimensiuni exprimat în procente, există riscul unor confuzii.

Astfel, dacă măsurăm presiuni diferite (6,8,1o at) cu un manometru care are domeniul de măsurare pînă la 15 at şi clasa de precizie ± 1,5% înseamnă că toate aceste măsurări antrenează o incertitudine de ± 1,5.15% adică ± o,225 at, indiferent de valoarea presiunii măsurate cu acest manometru.

Pentru unele instrumente clasa de precizie este trecută pe cadran (uneori într-un cerc), iar pentru altele unii constructori indică această valoare în prospect. Sînt şi situaţii, dacă anumite standarde prevăd acest lucru, cînd pe cadranul unor instrumente este trecută eroarea (maximă) de măsurare în procente.

2.5.2.5.2. Rezoluţia. Puterea de rezoluţie

Rezoluţia unui instrument este cea mai mică variaţie perceptibilă de la mărimea de măsurat. Aceasta antrenează eroarea de mobilitate.

Ea este în general exprimată prin puterea de rezoluţie, care este raportul dintre cea mai mică variaţie perceptibilă a mărimii de măsurat şi domeniul de măsurare a instrumentului.

Această noţiune împrumutată de metrologie din optică, unde serveşte pentru definirea puterii separatorii a instrumentelor, poate fi generalizată în metrologie, dacă se ţine seama de următoarele :

- cu cît un instrument este de calitate mai bună şi poate separa valorile foarte apropiate cu atît rezoluţia şi puterea de rezoluţie sînt mai reduse ;

- trebuie să se evite confundarea noţiunii de putere

de rezoluţie şi aceea de sensibilitate; astfel, două instrumente diferite, utilizate pentru măsurarea unei mărimi de un anume fel pot avea aceleaşi sensibilităţi însă rezoluţii foarte diferite.

2.5.2.6. Modul de reacţie a instrumentului în contact cu mediul

Această caracteristică a instrumentului trebuie aleasă în sensul modului în care instrumentul, modificînd mediul în care el se introduce, poate perturba mărimea de măsurat.

In cele ce urmează se vor defini succint calităţile instrumentelor de măsurare care conduc la o deformare minimă a măsurării.

2.5.2.6.1. Energia legată de măsurare. Impedanţa metrologică

La măsurarea unei anumite mărimi, X , trebuie să intre în joc o anumită energie.

Pentru precizarea noţiunilor se va considera [1] exemplul măsurării tensiunii electrice U a unui generator care posedă o impedanţă internă Z_1, cu ajutorul unui electrometru care prezintă o impedanţă Z_2. In timpul măsurării, circulă un curent i în circuit, astfel că tensiunea U' măsurată este

$$U' = U - Z\,i = U\left(1 - \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}\right) = U\,\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \qquad (2.9)$$

In acest caz se poate spune că la această măsurare intervine o anumită putere electrică U·i şi impedanţa metrologică poate fi definită prin raportul U/i .

In general, la măsurarea unei anumite mărimi X va trebui să-i asociem o mărime y astfel ca produsul X·y să aibă

dimensiunile unei puteri şi atunci impedanţa metrologică, Z se va defini ca o mărime cu dimensiunile raportului X/y .

In tabela 2.1 se indică felul şi dimensiunile mărimilor X, y şi Z corespunzătoare.

- Tabela 2.1 -

Mărimea măsurată X		Mărimea asociată y		Impedanţa Z	
Tensiune	V	Intensitate	A	Rezistenţă	Ω
Intensitate	A	Tensiune	V	Conductanţă	Ω^{-1}
Forţă	N	Viteză	m/s		Ns/m
Viteză	m/s	Forţă	N		m/Ns
Deplasare	m		N/s		ms/N
Viteza unghiulară	rad/s	Moment	N.m		rad/Nms
Presiune	N/m^2	Debit	m^3/s		Ns/m^5
Acceleraţie	m/s^2	Impuls	Ns		m/Ns^3
Energie	J		S^{-1}		J.s
Temperatură	^oK	Capacitate calorică raportată la timp.	cal/^oK.S		$^oKs/cal$
Cantitate de căldură	cal		$^oK/s$		cal s/^oK

Aceste noţiuni conduc la considerarea unei impedanţe a instrumentului de măsurare Z_m şi a unei impedanţe interne Z_i care caracterizează fenomenul generator al mărimii de măsurat.

Datorită furnizării energiei necesare funcţionării instrumentului, mărimea X' rezultată din măsurare nu va fi identică cu mărimea de măsurat X .

Prin analogie cu relaţia ce se utilizează la măsurarea

unei tensiuni, se poate scrie în acest caz :

$$X' = X \frac{Z_m}{Z_m + Z_i} \qquad (2.10)$$

Cu ajutorul acestei relaţii se observă că $X' = X$ dacă impedanţa instrumentului $Z_m = \infty$ sau dacă impedanţa internă $Z_i = o$.

Eroarea ε , rezultată din furnizarea energiei de către mediul de măsurare este :

$$\varepsilon = X' - X = X\left(1 - \frac{Z_m}{Z_i + Z_m}\right) = X \frac{Z_i}{Z_i + Z_m} \qquad (2.11)$$

Aceasta este cu atît mai mică, cu cît Z_m este mai mare.

2.5.2.6.2. Rigiditatea instrumentului de măsurare

In unele cazuri este interesant de calculat energia consumată de instrumentul de măsură.

Dacă se măsoară o mărime X , îi putem asocia o mărime Y , astfel ca produsul X.Y să reprezinte fie o energie fie un travaliu. Este evident că dacă puterea este derivata energiei, atunci mărimea y este derivata mărimii Y .

Raportul $\frac{X}{Y}$ este definit "rigiditatea" instrumentului (prin analogie cu rigiditatea resortului).

Din relaţiile de definiţie ale impedanţei metrologice Z şi a rigidităţii K a instrumentului rezultă egalitatea :

$$\frac{Z}{K} = \frac{Y}{y} \qquad (2.12)$$

Acest raport are ca dimensiune timpul ; pentru un instrument cu întîrziere simplă el defineşte constanta de timp;

în cazul general, el este legat de timpul de răspuns al instrumentului şi caracterizează comportamentul său dinamic.

Relaţia (2.12) arată că, la timpi de răspuns identici, impedanţa unui instrument de măsurare este proporţională cu rigiditatea sa. Un instrument de măsură furnizează deci un rezultat X' cu atît mai apropiat de mărimea X , cu cît rigiditatea sa este mai ridicată (impedanţă ridicată).

In tabela 2.2. sînt trecute mărimile X, Y şi K împreună cu dimensiunile lor.

- Tabela 2.2 -

Mărimea măsurată X		Mărimea asociată Y		Rigiditatea K	
Tensiune	V	Incărcare	As	(capacitate)$^{-1}$	F^{-1}
Intensitate	A	F l u x	Vs	(inductanţă)$^{-1}$	H^{-1}
Forţă	N	Deplasare	m	rigiditate	N/m
Viteză	m/s	Impuls	Ns		m/Ns^2
Deplasare	m	Forţă	N	suplete	m/N
Viteză unghiulară	rad/s		Nms		rad/Nms^2
Presiune	N/m^2	Volum	m^3		N/m^3
Acceleraţie	m/s^2		Ns^2		$m/N.s^4$
Energie	J	Număr	-		J
Temperatură	^oK	Cantitate de căldură	cal	(capacitate calorică)$^{-1}$	$^oK/cal$
Cantitate de căldură	cal	Temperatură	^oK	(capacitate calorică)	$cal/^oK$

Dacă ne referim la acest tabel se poate deduce că un dinamometru va altera cu atît mai puţin rezultatul măsurării forţei cu cît rigiditatea sa mecanică este mai mare iar un tra-

ductor de deplasare va da indicaţii cu atît mai bune cu cît supleţea sa mecanică este mai mare. De asemenea, un electrometru nu trebuie să prezinte decît o slabă capacitate iar un ampermetru cu cadru, nu trebuie să prezinte decît o slabă self-inductanţă.

Valorile lui Z şi K depind în mare măsură de metoda de măsurare utilizată. Dacă se scade valoarea lui y se măreşte Z şi dacă se reduce mărimea Y se măreşte valoarea lui K.

In vederea anihilării sau reducerii influenţei valorii impedanţei metrologice sau rigidităţii asupra deformării rezultatului măsurării, se indică una din următoarele metode :

- adaptarea impedanţei fenomenului la aceea a instrumentului de măsurare prin intercalarea între ele a unor dispozitive, aparate etc. pentru mărirea mărimii ca:transformatoare pentru tensiune sau curent, pîrghii pentru forţe şi deplasări, pistoane inegale pentru presiuni, etc. ;

- introducerea în lanţul de măsurare a unui amplificator ;

- efectuarea măsurării printr-o metodă de zero.

2.5.2.6.3. Finetea instrumentului de măsurare

Finetea unui instrument de măsură este atît rezultatul unei impedanţe ridicate şi a unei rigidităţi mari, cît şi a unei reacţii cît mai mici provocată de instrument asupra obiectului măsurării.

Pentru o înţelegere mai clară a influenţei acestei reacţii, se poate considera exemplul măsurării vitezei aerului într-o suflerie cu secţiunea de cîţiva decimetri pătraţi cu un tu

Pitot cu secţiunea de 1 cm^2. Dacă se ia în consideraţie numai influenţa impedanţei,se observă că presiunea dinamică reală este foarte puţin modificată datorită secţiunii mici pentru priza de presiune şi a cantităţii foarte mici de aer prelevată pentru măsurare. Impedanţa în cazul acesta însă nu ţine seama de modificarea liniilor de curent,datorită prezenţei tubului Pitot care poate conduce chiar la crearea undelor de şoc.

La fel, un acelaşi termometru imersat în apă modifică mai mult temperatura apei conţinută într-un vas de 100 cm^3, decît temperatura apei dintr-un vas de 10 l.

2.5.2.7. Alte caracteristici

2.5.2.7.1. Factorul de merit

Deoarece un instrument de măsurare are mai multe caracteristici, care îi conferă un merit mai mare sau mai mic sub aspect calitativ, este uneori greu de comparat între ele instrumentele dintr-o aceeaşi categorie luînd fiecare caracteristică în parte. Se recurge adesea în astfel de cazuri, la combinarea unor factori de calitate obţinîndu-se un număr reprezentativ al gradului de perfecţie al instrumentului întîlnit adeseori sub numele de factor de merit.

Astfel, pentru galvanometrele de diferite sensibilităţi şi fabricaţie, acest factor de merit este $S \cdot \sqrt{g \cdot T_0^3}$ în care, S este sensibilitatea T_0 - perioada proprie şi g - rezistenţa.

La combinarea acestor factori se va ţine seama de interesul preferenţial pentru anumite calităţi solicitate instrumentului de măsurare.

2.5.2.7.2. Timpul de răspuns

Acest timp este o caracteristică foarte importantă şi reprezintă timpul necesar instrumentului pentru a se pune în echilibru cu fenomenul.

Acest timp nu depinde numai de instrument ci şi de condiţiile experimentale precum şi de natura fenomenului studiat.

Astfel, timpul de răspuns va fi de cîteva minute pentru un termometru plasat în aer liniştit şi de cîteva zeci de secunde dacă el este imersat în apă în curgere.

2.5.2.7.3. Fiabilitatea

Increderea pe care o putem avea în calitatea obiectelor, în general şi certitudinea că ele vor putea îndeplini funcţiunile care le sînt atribuite, sînt în mod curent denumite sub numele de fiabilitate.

Indicaţiile referitoare la acest aspect le căpătăm, în general, în urma controlului statistic.

Astfel, referindu-ne de exemplu , la valorile rezistenţelor într-o fabricaţie de serie, controlul static combinat cu distribuţia Gaussiană a probabilităţilor ne arată că nu există decît o şansă la un milion pentru ca o rezistenţă să fie în afara limitelor $950 \div 1050\ \Omega$ pentru temperaturi cuprinse între -50° şi $+200^{\circ}C$ şi pentru o intensitate a curentului inferioară lui 0,1 A.

2.6. Factorii de care depinde alegerea metodei sau mijlocului de măsurare

Alegerea unei metode sau mijloc de măsurare este o problemă foarte importantă şi uneori destul de complexă deoarece ea depinde de mai mulţi factori ai căror importanţă se manifes

diferit de la caz la caz. In prealabil trebuiesc cunoscute condiţiile de măsurare, factorii care pot influenţa negativ măsurarea precum şi caracteristicile mijloacelor de măsurare.

In general, factorii de care depinde alegerea metodei sau a mijlocului de măsurare sînt impuşi de o serie de cerinţe ale procesului sau fenomenului urmărit şi pot fi grupaţi în :

- Factori metrologici, care cuprind caracteristicile instrumentelor de măsurare tratate în subcapitolul 2.5.2. şi la care s-ar putea adăuga pentru măsurările dinamice unele caracteristici suplimentare care vor fi tratate într-un subcapitol separat.

- Factori de tehnica măsurării: distribuţia măsurărilor în timp, amplasarea punctului de măsurare în diverse medii şi situaţii, accesibilitatea punctului de măsurare, natura mediului - agresivitatea - la unele măsurări etc.

- Factori derivaţi din modul în care trebuie utilizat rezultatul măsurării.

- Factori tehnico-economici.

2.6.1. Factori metrologici

Aceştia sînt primii factori care trebuiesc luaţi în consideraţie la alegerea metodei sau mijlocului de măsurare. Ei sînt : domeniul de măsurare, justeţea, sensibilitatea, fidelitatea, precizia, modul de reacţie a instrumentului în contact cu mediul, factorul de merit, timpul de răspuns, fiabilitatea, care au fost trataţi, aşa cum s-a arătat mai sus, în subcapitolul 2.5.2 şi la care se adaugă pentru măsurările dinamice unele caracteristici sau cerinţe suplimentare tratate în subcapitolul 2.6.1.1.

2.6.1.1. Caracteristici si cerinte impuse pentru măsurările dinamice

2.6.1.1.1. Intîrzierea

Prin aceasta se înţelege decalajul constant în timp între mărimea de măsurat şi valoarea măsurii.

2.6.1.1.2. Timpul de răspuns pentru valori apropiate cu X % de valoarea reală

Dacă se consideră o măsurare la care valoarea de măsurat este egală cu unitatea, atunci prin aceasta se înţelege timpul după care valoarea măsurii atinge $1 - \frac{X}{100}$.

In cazul în care regimul de lucru al instrumentului este periodic şi dacă măsurarea se află în jurul poziţiei de echilibru, acesta se defineşte ca timpul necesar pentru ca oscilaţiile să rămînă în interiorul intervalului $(1 + \frac{X}{100})$ şi $(1 - \frac{X}{100})$. Acest lucru este arătat în fig. 2.8.

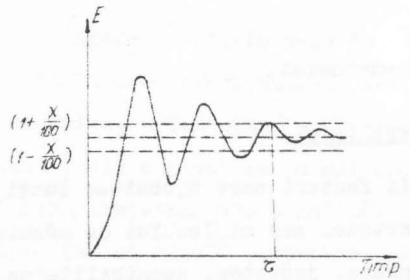


Fig.2.8. Timpul de răspuns pentru valori apropiate cu X % de valoarea efectivă.

2.6.1.1.3. Timpul de măsură

Acesta este timpul necesar efectuării unei măsurări, timp în care valoarea de măsurat poate fi considerată constantă.

Acesta este impus de condiţiile de lucru şi anume : timpul de lectură a rezultatului, timpul de fotografiere, timpul de cădere, timpul de măsurare "din zbor" (mărimea de măsurat are o valoare constantă care se

aplică brusc la momentul t = o iar răspunsul instrumentului este o curbă evolutivă în timp, care depinde de caracteristicile instrumentului, iar valorile sînt proporţionale cu intensitatea mărimii de măsurat (fig. 2.9) ; deviaţiile x_1 şi x_2 la timpul τ dat sînt proporţionale cu deviaţiile X_1 şi X_2 la echilibru) etc.

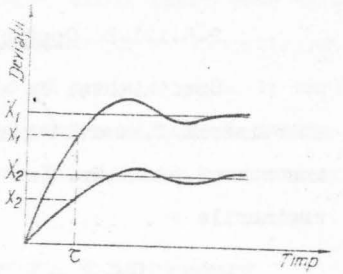


Fig. 2.9. Principiul măsurării "din zbor".

2.6.1.1.4. Timpul de revenire.

Acest timp contribuie împreună cu timpul de măsură la mărirea întîrzierii în vederea efectuării măsurărilor succesive. Astfel, adesecri, instrumentul trebuie să descrie un ciclu sau să rămînă în repaus înainte de a reveni la starea sa iniţială. Se poate aminti cazul contoarelor de impulsuri, care trebuie aduşi la zero înaintea fiecărei măsurări.

2.6.1.1.5. Cadenţa măsurărilor

Prin aceasta se înţelege frecvenţa maximală de repetare a măsurărilor.

2.6.1.1.6. Frecvenţa şi pulsaţia proprie

Acestea caracterizează funcţionarea dinamică a instrumentelor pendulare şi prezintă interes pentru măsurările armonice. De asemenea, acestea permit stabilirea limitelor între diferitele tipuri de funcţionări (accelerometre sau seismografe).

2.6.1.1.7. Frecvenţa şi pulsaţia de rezonanţă

Aceasta este frecvenţa sau pulsaţia pentru care răspunsul în frecvenţă prezintă un maximum :

$$\omega_r = \omega_o \sqrt{1 - 2f^2} \qquad (2.13)$$

în care : ω_r - pulsaţia de rezonanţă ; ω_o - pulsaţia proprie şi f - coeficientul de amortizare.

2.6.1.1.8. Coeficientul de amortizare f

Coeficientul de amortizare sau factorul de reducere a amortizării f, caracterizează modul de funcţionare a unui instrument pendular. In funcţie de valorile sale se definesc regimurile :

$0 < f < 1$	regimul periodic
$f = 1$	regimul critic
$f > 1$	regimul aperiodic

Asupra acestor noţiuni se va reveni mai pe larg în cadrul capitolelor referitoare la măsurările diferitelor mărimi.

2.6.2. Factori de tehnica măsurării

Factorii de tehnica măsurării care vor fi trataţi succint în cele ce urmează sînt : distribuţia măsurărilor în timp, amplasarea punctului de măsurare, accesibilitatea punctului de măsurare, natura mediului supus măsurării şi condiţiile mediului ambiant.

2.6.2.1. Distribuţia măsurărilor în timp

In funcţie de natura fenomenului studiat şi a mărimilor ce trebuiesc măsurate, se disting :

- măsurări permanente ;
- măsurări periodice ;
- măsurări unice .

La alegerea metodei sau mijlocului de măsurare este necesar să se ţină seama şi de acest aspect.

2.6.2.2. Amplasarea punctului de măsurare

Pentru unele mărimi ce urmează a fi măsurate, amplasarea punctului de măsurare este foarte importantă pentru alegerea metodei şi instrumentului de măsurare. Acest lucru este deosebit de important la măsurarea temperaturilor şi vibraţiilor. De asemenea, de acest lucru trebuie să se ţină seama la amplasarea dispozitivelor de ştrangulare pentru măsurarea debitelor, la amplasarea traductoarelor de presiune în cilindri motoarelor etc.

2.6.2.3. Accesibilitatea punctului de măsurare

In funcţie de accesibilitatea punctului de măsurare, sînt impuse restricţii asupra alegerii metodei de măsurare. Punctul de măsurare poate fi fix sau mobil, apropiat sau depărtat de experimentator ş.a.

Astfel un caz tipic de punct de măsurare mobil îl reprezintă un piston de motor sau compresor în mers, căruia trebuie să i se măsoare temperatura.

2.6.2.4. Natura mediului supus măsurării

In cadrul efectuării unor măsurări, va fi necesar să se ţină seama de natura mediului supus măsurării în ceea ce priveşte agresivitatea, temperatura, starea de agregare etc.

Astfel, la alegerea instrumentelor de măsurare a presiunii, temperaturii, debitului etc. în cadrul instalaţiilor frigorifice trebuiesc alese fie instrumentele care au inscripţionate pe ele agentul frigorific fie că trebuie să se ţină seama de agresivitatea agentului. In acest ultim caz trebuie ţinut seama de faptul că amoniacul corodează cuprul şi aliajele acestuia iar clorura de metil atacă zincul, aluminiul şi aliajele uşoare.

Dacă se introduce elementul sensibil al unui termometru într-o teacă de protecţie în vederea protejării faţă de agresivitatea mediului, se va mări inerţia termică. Acest lucru va impune deci alegerea unei metode de măsurare, care cu toată creşterea inerţiei termice, prin utilizarea tecii de protecţie, să corespundă totuşi scopului urmărit.

In cazul unor fluide aflate la temperaturi ridicate, dacă se urmăreşte măsurarea presiunii de exemplu, fluidul nu trebuie să vină în contact cu elementul de măsurare al aparatului.

2.6.2.5. Condiţiile mediului ambiant

In principiu, un instrument de măsurare este construit pentru a măsura o anumită mărime. Sînt însă situaţii în care condiţiile mediului favorizează acţiunea unor mărimi străine asupra instrumentului de măsurare ceea ce poate deforma măsurarea. Acestor mărimi străine li se spune mărimi de influenţă.

Mărimile de influenţă care trebuiesc luate în consideraţie sînt : mărimile de acelaşi fel cu mărimea ce se măsoară, temperatura, presiunea şi umiditatea mediului ambiant, acceleraţiile şi vibraţiile, cîmpurile electrice şi magnetice şi timpul.

2.6.2.5.1. Temperatura

Temperatura mediului ambiant influenţează diferenţiat indicaţiile instrumentelor de măsurare.

Temperatura conduce la variaţia dimensiunilor pieselor mecanice şi poate antrena o modificare importantă a jocurilor între piesele din metale diferite cu creştere uneori a frecărilor. De asemenea, aceasta face să varieze volumul lichidelor, ceea ce în cazul volumelor închise înseamnă şi variaţii de presiuni, modifică densitatea gazelor şi viscozitatea fluide-

lor etc.

In afara efectelor mecanice trebuiesc amintite şi efectele electrice generate de temperatură şi anume : acţiune asupra rezistivităţii conductorilor şi forţele termoelectromotoare a termocuplelor.

Trebuie amintit că la măsurările de temperaturi, indicaţiile unui termometru sînt în general deformate de către radiaţia corpurilor vecine şi de conducţia căldurii prin eventualele suporturi, dacă nu se iau precauţii speciale posibile în unele situaţii.

In general, constructorul indică limitele de temperaturi între care poate lucra aparatul. De exemplu, aparatele de uz general pentru măsurarea presiunii, sînt gradate de obicei şi se încadrează în eroarea tolerată în intervalul $20 \pm 5^{\circ}C$.

2.6.2.5.2. Presiunea

Influenţa presiunii atmosferice asupra aparatelor de măsurat este în general neglijabilă. Valoarea acesteia trebuie cunoscută atunci cînd se caută valoarea presiunii absolute în urma măsurării cu un aparat de presiune relativă.

De asemenea, aceasta nu trebuie neglijată în cazul încercărilor în zbor sau la încercările efectuate la standurile pentru încercări de motoare cu ardere internă sau compresoare.

2.6.2.5.3. Umiditatea

Umiditatea mediului ambiant are influenţă asupra greutăţii, dimensiunilor şi rezistenţei de izolaţie a pieselor din materiale organice. De asemenea, umiditatea exagerată a unor medii poate conduce la coroziunea unor elemente ale aparatelor de măsurare.

2.6.2.5.4. Acceleraţiile şi vibraţiile

Acceleraţiile care modifică forţele aplicate la organele mecanice şi vibraţiile la care pot fi supuse aparatele perturbă măsurările.

Aparatele de măsurare montate direct pe utilaje (de exemplu manometrele) sînt supuse mai intens vibraţiilor însă vibraţiile se transmit prin sol şi prin elementele de construcţie şi la aparatele aşezate în vecinătate, îngreuind citirea indicaţiilor. La aparatele indicatoare pentru presiuni, de exemplu, se acceptă de obicei, că lucrează în condiţii normale dacă vibraţiile nu provoacă oscilaţii ale acului indicator mai mari de 1/1o din lungimea unei diviziuni.

Aparatele de măsură mai delicate (galvanometre, balanţe, manometre de construcţii speciale etc.), trebuie protejate împotriva vibraţiilor. Astfel, se recomandă ca aparatele supuse la vibraţii puternice să fie amplasate cu suspensii elastice sau pe tablouri izolate de masa cu vibraţii. Acolo unde este posibil, se recomandă utilizarea traductorilor electrici cu transmiterea la distanţă a indicaţiilor.

2.6.2.5.5. Cîmpurile electrice şi magnetice

Funcţionarea mecanismelor unor aparate de măsură poate fi perturbată la introducerea acestora într-un cîmp magnetic, dacă conţin piese feromagnetice (de exemplu balansierul ceasornicului).

Majoritatea aparatelor de măsură electronice şi un mare număr de aparate electrice sensibile, conduc la rezultate modificate dacă sînt introduse în cîmpuri electrice sau magnetice.

In astfel de situaţii, dacă nu se poate suspenda acţiunea cîmpurilor electrice şi magnetice, se vor utiliza unele ecrănări indicate de la caz la caz, se vor utiliza aparate de construcţie specială sau se va scoate aparatul din zona de influenţă.

2.6.2.5.6. Timpul

Timpul provoacă în general modificări ireversibile asupra aparatelor de măsurare. Astfel magneţii pierd magnetizarea, resoartele pierd rigiditatea, pivoţii pierd mobilitatea, termocuplele suferă fenomenul de îmbătrînire etc.

Desigur, timpul nu poate fi considerat strict ca o mărime de influenţă care este în esenţă o mărime actuală, dar acţiunea sa este foarte analoagă cînd măsurările durează mult fără ca vreo intervenţie să fie posibilă (de exemplu aparatele de pe vehiculele spaţiale).

Prin verificări şi reetalonări periodice acest efect se poate reduce.

2.6.3. Factori derivaţi din modul în care trebuie utilizat rezultatul măsurării

Rezultatele măsurărilor servesc experimentatorului în mai multe moduri şi anume :

- pentru simpla cunoaştere a rezultatului la un moment dat (măsurarea simplă) ;

- pentru cunoaşterea variaţiei în timp a mărimii de măsurat ;

- pentru compararea a două mărimi între ele, sau pentru compararea directă a rezultatului cu măsura sau cu măsura etalon ;

- pentru a cunoaşte valoarea totală a mărimii de măsurat ;

- pentru a regla în mod automat un proces după valoarea mărimii de măsurat.

In funcţie de aceste scopuri, se vor alege următoarele categorii de aparate :

a. Aparate indicatoare (termometre, manometre cu tub elastic, tahometre etc.).

b). Aparate comparatoare (cîntare, balanţe, potenţiometre, punţi electrice, manometre cu contragreutăţi etc).

c). Aparate înregistratoare (manometre înregistratoare, pirometre, logometre, analizoare de gaze etc).

d) Aparate integratoare (debitmetre, contoare de gaz, contoare electrice, contoare de turaţii etc).

e) Aparate de reglat care reglează în mod automat un proces după valorile mărimii de măsurat, cu ajutorul unui dispozitiv special.

In afara aparatelor de măsurat se mai folosesc instalaţii de măsurat care reprezintă un ansamblu de măsurări şi aparate de măsură, caracterizate printr-o schemă sau metodă comună de măsurare. Astfel, în cazul în care se urmăreşte măsurarea temperaturii în mai multe puncte, sînt posibile situaţiile :

- punctele de măsurare sînt accesibile ochiului observatorului, nu sînt prea depărtate unele de altele, intervalele de timp în care trebuie să se facă citirile nu sînt prea mici şi dacă restul condiţiilor permit, pot fi utilizate şi termometre de sticlă cu lichid ;

- punctele de măsurare nu sînt accesibile sau aceste

puncte sînt accesibile dar citirile trebuiesc făcute la intervale mai mici de timp ; se recomandă alte metode ca de exemplu utilizarea termometrelor cu rezistenţă sau pirometrele termoelectrice, care permit utilizarea unui singur instrument indicator, împreună cu mai multe elemente sensibile legate de acesta, pe rînd, cu ajutorul unui comutator.

2.6.4. Factori tehnico-economici

Deşi literatura tehnică de specialitate insistă mai puţin asupra acestor factori, totuşi ei trebuiesc luaţi în consideraţie atunci cînd pentru efectuarea unor măsurări corespund din punct de vedere tehnic mai multe mijloace de măsurare.

Este recomandabil să se privească această problemă din punctul de vedere al robusteţei mijlocului de măsurare, comodităţii în exploatare şi costului, atunci cînd ceilalţi factori corespund pentru mijloacele de măsurare care se iau în consideraţie.

BIBLIOGRAFIE

1. Bassière,M, Gaignebet,E., Métrologie générale. Théorie de la mesure. Les Instruments et leur emploi. Ed.Dunod Paris, 1966.

2. Penescu,T., Petrescu, V., Măsurarea presiunii în tehnică. Ed.Tehnică, Bucureşti, 1968.

3. Vezeanu,P. Pătraşcu,S., Măsurarea temperaturii în tehnică. Ed.Tehnică, Bucureşti, 1968.

4. x x x STAS 2872 - 59 Erori de măsurare. Terminologie şi simboluri.

5. x x x STAS 2933 - 60 Mijloace de măsurare. Terminologie.

Capitolul 3

PRELUCRAREA DATELOR EXPERIMENTALE

3.1. Reprezentarea datelor experimentale

In cadrul experimentării maşinilor termice la standurile de probă sau uneori direct în locurile de instalare, se culeg anumite date, care trebuiesc păstrate, fie în vederea analizării lor directe, fie în vederea prelucrării şi apoi a analizării lor. Aceste date sînt adunate mai întîi sub formă de tabele şi ulterior, dacă este cazul, se reprezintă sub formă de grafice şi tabele.

3.1.1. Reprezentarea datelor experimentale sub formă de tabele

Tabelele prezintă o serie de avantaje şi anume : sînt simple de întocmit, permit uşor găsirea şi eventual compararea datelor şi oferă posibilitatea păstrării lor în formă compactă.

Tabelele pot fi clasificate în următoarele trei clase generale : calitative (v.tabela 3.1), statistice (v.tabela 3.2) şi funcţionale (v.tabela 3.3).

Tabela 3.1. Exemplu de tabelă de tip calitativ

Comparaţie între camerele de ardere unitare şi divizate.

Criteriul de comparaţie	Camera unitară	Camera divizată
1. Pornirea	uşoară	greoaie
2. Economicitatea	mai mare	mai redusă
3. Puterea litrică	mai mică	mai mare

Continuare tabela 3.1.

Criteriul de comparaţie	Camera unitară	Camera divizată
4. Ancombramentul şi greutatea	mai mari	mai mici
5. Zgomotele şi mersul trepidant	zgomotoase	silenţioase
6. Evacuarea fără fum şi gaze nocive	dezavantajoase	avantajoase
7. Dependenţa de calităţile combustibilului	sensibile	mai independente
8. Preţul de cost	scumpe	avantajoase
9. Preţul de cost al exploatării	ieftine	scumpe

Tabela 3.2. Exemplu de tabelă de tip statistic.

Conţinutul de umiditate, de gudron şi de acid acetic în gazul de gazogen amestecat, în funcţie de tipul de combustibil, în g/Nm^3.

Combustibilul	Umiditatea	Gudron	Acid acetic
Antracit	4o - 8o	o	-
Huilă	8o - 12o	1o	-
Cărbune brun	2oo - 3oo	2o	-
Turbă (superioară)	3oo - 5oo	4o	5 - 8
L e m n	3oo - 5oo	7o	12 -2o

Tabela 3.3. Exemplu de tabelă de tip funcţional

Unele mărimi de stare ale apei şi a aburului la saturaţie.

t °C	P bar	v' dm^3/kg	v'' m^3/kg	s' $KJ/kg\,^oK$	s'' $KJ/kg\,^oK$	i' KJ/kg	i'' KJ/kg
1oo	1,o132	1,o438	1,673	1,3o63	7,35oo	411,88	2674,4
1o5	1,2o8o	1,o479	1,419	1,3625	7,29o6	439,99	2622,1
11o	1,4326	1,o52o	1,21o	1,4179	7,2331	461,13	2689,6
115	1,69o5	1,o563	1,o36	1,4728	7,1775	482,31	2697,o
12o	1,9853	1,o6o8	o,8913	1,527o	7,1236	5o3,5	27o4,2
125	2,32o8	1,o654	o,77oo	1,58o7	7,o714	524,8	2711,4
13o	2,7o11	1,o7o2	o,6679	1,6338	7,o2o8	546,1	2718,3

Atît tabelele statistice cît şi cele funcţionale trebuie să aibă un titlu clar, complet şi totuşi scurt. Materialul explicativ ca data, sursa datelor dacă nu este originală şi alte referiri se trec sub forma unei note sub titlu sau mai ales sub tabelă. Tabelele **statistice comportă o coloană de intrare,care este prima coloană** din stînga şi în care se trec denumirile obiectului sau valorile separate ale variabilei considerată independentă. Fiecare coloană a acestor tabele trebuie să aibă un cap, în care, se trece cantitatea şi eventual unităţile în care se exprimă. In cazul în care capetele de coloană au o denumire generală comună aceasta va forma capul de secţiune care va concentra coloanele respective. Acest lucru este exemplificat mai jos.

Exemplu general

Cap de secţiune	
Cap de coloană	Cap de coloană
Valoarea	Valoarea
Valoarea	Valoarea

Exemplu particular

Temperatura apei °C	
intrare	ieşire
76,o5	127,15
77,oo	128,5o

Referitor la prescurtări şi simboluri se menţionează că acestea se pot folosi numai atunci cînd semnificaţia lor este clară.

La fixarea capului de tabel trebuie să se ţină seama şi de faptul că este mai uşor de plasat o listă lungă de valori într-o coloană verticală decît într-un rînd orizontal.

Valorile numerice din coloane trebuie să fie ordonate, astfel încît, virgulele care despart zecimalele să fie aliniate vertical. La scrierea valorilor numerice trebuie să ne oprim, în general, la prima cifră semnificativă nesigură. Dacă valorile numerice din tabelă le trecem, de exemplu, cu trei zecimale şi dacă prima cifră semnificativă nesigură este prima zecimală, vom înlocui celelalte două cifre cu zerouri (de exemplu, în loc de 172,3 se va scrie deci 172,3oo) pentru a respecta uniformitatea coloanelor.

O cifră semnificativă este oricare cifră a unui număr, care este folosită pentru a arăta mărimea numărului indiferent de locul virgulei. Să luăm în considerare următoarele măsuri de lungime :

1) 253 cm
2) o,oo253 cm
3) 25,o3 cm
4) 25,3o cm
5) 253oo cm

Măsurarea (1) conţine trei cifre semnificative. Această măsurare indică cel mult că rezultatul este mai aproape de 253 decît de 252 sau 254 cm, adică faptul că el se află între 252,5 cm şi 253,5 cm. Măsurarea (2) conţine de asemenea, trei cifre semnificative; zerourile din dreapta virgulei servesc numai

pentru fixarea poziţiei virgulei. Valorile (1) şi (2) sînt identice. Măsurările (3) şi (4) conţin cîte patru cifre semnificative. La măsurarea (4) semnificaţia cifrei zero, este oarecum nesigură. Deoarece rezultatul, aşa cum este scris poate indica, cel mult, că valoarea este cuprinsă între 25,295 cm şi 12,3o5 cm, respectiv cel puţin între 25,275 cm şi 25,325 cm, cititorul nu are posibilitatea să spună, numai după această valoare, ce a vrut să înţeleagă cel care a scris-o. Se menţionează însă, că, notarea unei măsurări prin 25,3 cm cînd aceasta poate fi scrisă mai just 25,3o,creează impresia unei precizii mai mici decît realmente cea atinsă şi indică neglijenţa din partea celui care a scris-o.

Uneori se pune problema rotunjirii numerelor la un anumit număr de cifre semnificative. In aceste cazuri se vor respecta regulile ilustrate prin următoarele exemple de rotunjire a numerelor scrise cu trei zecimale la numere scrise cu o singură zecimală.

25,345 ne dă 25,3
25,367 ne dă 25,4
25,356 ne dă 25,4
25,35o ne dă 25,4

3.1.2. Reprezentarea datelor prin grafice

Reprezentarea grafică a datelor se bazează pe principiile geometriei analitice a lui Descartes şi constă în reprezentarea valorilor numerice prin lungimea unei linii, aria unei suprafeţe, volumul unui solid sau mărimea unui unghi.

Deoarece în unele cazuri reprezentarea grafică înseamnă o pierdere de timp şi de muncă, aceasta nefiind necesară pentru

scopul urmărit, iar în alte cazuri a nu reprezenta grafic datele găsite ar însemna pe lîngă pierderea de timp şi de energie şi imposibilitatea sesizării unor relaţii importante, este necesar ca hotărîrea de a reprezenta sau nu grafic, să se ia cu mult discernămînt.

Graficele prezintă unele avantaje ca :

- permit compararea uşoară a valorilor precum şi urmărirea variaţiei acestor valori funcţie de anumiţi factori ;
- fac apel la atenţia cititorului ;
- permit găsirea uşoară a valorilor ;
- se pot păstra uşor în dosare.

In cazul în care unele grafice apar sub forma unor curbe convenabile, se poate deriva sau integra o variabilă în raport cu alta direct din grafic, fără a se cunoaşte forma matematică a relaţiei reprezentate.

Graficele pot fi calitative sau cantitative.

Graficul calitativ adresîndu-se şi nespecialistului trebuie să fie deosebit de clar şi atractiv.

Majoritatea graficelor calitative reprezintă fie o variabilă y ca şi cum ar fi o funcţie f(x) de altă variabilă, fără însă a se bănui vreo legătură cauzală alta decît o simultaneitate în timp, o coincidenţă de poziţie etc., fie y = f(x) cu o legătură cauzală,cunoscută sau bănuită între cele două variabile.

Există multe moduri de reprezentare ale graficelor calitative. In fig. 3.1, 3.2 şi 3.3, se redau cîteva exemple de astfel de grafice şi diagrame calitative.

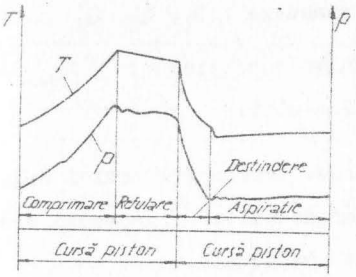


Fig. 3.1. Curbele de variaţie ale presiunii şi temperaturii gazului din cilindrul compresorului cu piston, în funcţie de cursa pistonului.

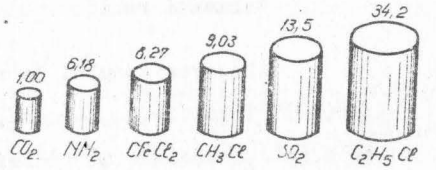


Fig. 3.2. Volumul generat de pistonul compresorului (cilindreea) pentru maşini frigorifice de aceeaşi putere de răcire cu diferiţi agenţi (diagramă calitativă)

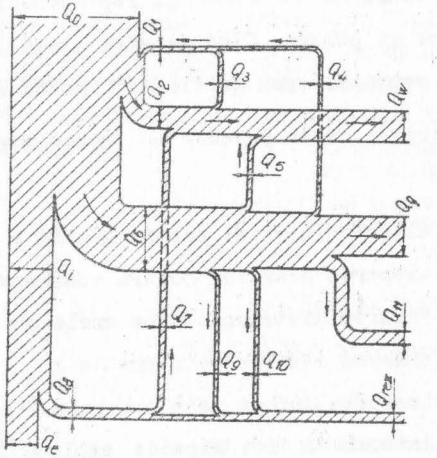


Fig. 3.3. Reprezentarea bilanţului termic al motorului sub formă procentuală.

Q_0 - căldura disponibilă ; Q_i căldura transformată în lucru mecanic indicat ; Q_e - căldura transformată în lucru mecanic efectiv ; Q_w - căldura pierdută în mediul

de răcire prin pereții cilindrului ; Q_g - căldura antrenată de gazele de evacuare ; Q_1, Q_2, Q_3 ... Q_{11} - călduri și călduri echivalente pierdute ; Q_{rez} - termenul rezidual al bilanțului.

Alegerea modului de reprezentare a graficului calitativ depinde întrucîtva de date, dar de multe ori această alegere este și o chestiune de preferință personală.

Graficul cantitativ dă în mod obișnuit relația dintre cele două variabile legate între ele, sub forma unei curbe regulate, care poate sau nu poate să fie exprimată matematic.

Marea majoritate a graficelor cantitative sînt trasate în coordonate rectangulare cu diviziuni uniforme ale scărilor. In unele cazuri se folosesc și reprezentările în coordonate logaritmice și polare. Cînd relația leagă între ele mai multe variabile reprezentarea grafică utilizată adesea, este nomograma.

Etapele ce se parcurg la întocmirea unui grafic sînt [1] :

- alegerea hîrtiei pentru grafic ;
- alegerea scărilor pentru coordonate ;
- fixarea diviziunilor pe axele de coordonate ;
- fixarea datelor prin puncte ;
- trasarea curbei prin punctele fixate ;
- întocmirea unei legende explicative;
- indicarea sursei datelor.

In fig. 3.4, 3.5, și 3.6 se arată cîteva exemple de grafice de tip cantitativ trasate în coordonate rectangulare, logaritmice și respectiv în coordonate polare.

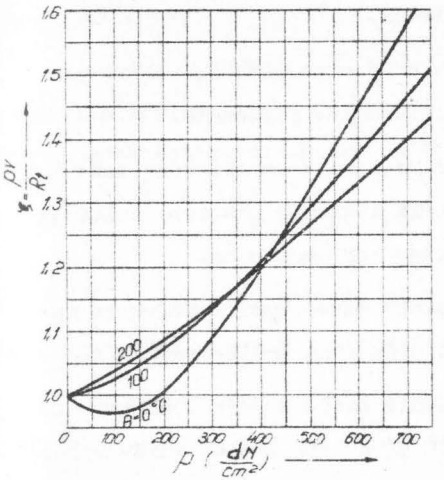


Fig. 3.4. Valorile coeficientului real de compresibilitate pentru aer, în funcție de presiune, pentru temperaturi cuprinse între 0°C și 2oo°C.

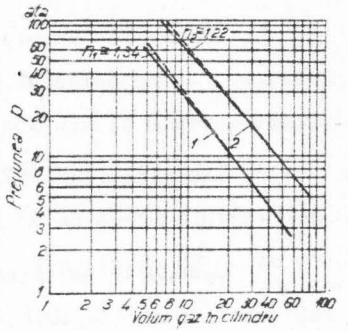


Fig.3.5. Liniile de compresiune și de destindere pentru un motor cu autoaprindere în doi timpi.
1 - Exponentul n pentru compresiune;
2 - Exponentul n pentru destindere.

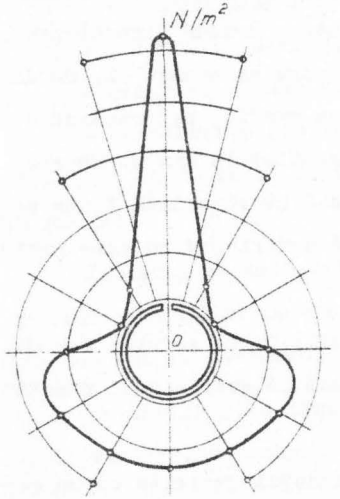


Fig.3.6. Epura presiunii specifice a segmentului de piston.

3.1.3. Reprezentarea datelor prin ecuații

In unele cazuri se impune exprimarea sub formă de ecuație a relațiilor care există între variabilele indicate de grafice sau tabele. Ecuațiile sînt folosite uneori în operațiile de derivare, integrare sau interpolare. In plus, ecuațiile sînt forme

compacte de exprimare, se ţin minte mai uşor şi sînt convenabile pentru reprezentarea datelor.

Ecuaţiile care conţin date experimentale şi se pot deduce pe cale teoretică sînt denumite raţionale.

Ca exemple de ecuaţii raţionale se amintesc ecuaţiile folosite pentru calculul puterii indicate ale motoarelor cu ardere internă şi ale compresoarelor cu piston.

Ecuaţiile care reprezintă date experimentale se numesc empirice dacă nu au fost deduse în mod teoretic.

O ecuaţie empirică ideală trebuie să reprezinte cît mai exact datele experimentale şi să conţină un număr redus de constante arbitrare. Aceste două cerinţe, în general contrare, nu pot fi respectate întotdeauna fiind nevoiţi să renunţăm uneori, fie la precizie, fie la simplitate. De asemenea, uneori, trebuie să facem o alegere între diferite funcţii, care într-un caz dat, se apropie la fel de forma ideală. Avînd în vedere că nu există o metodă directă pentru obţinerea unei funcţii adecvate pentru un anumit şir de date, de obicei se marchează datele pe un grafic, se trasează curba aproximativă şi apoi bazaţi pe cunoştinţele din geometria analitică şi pe experienţa acumulată se apreciază forma ecuaţiei. Dacă rezultatul obţinut după verificare nu este satisfăcător, se repetă operaţia.

Trebuie menţionat că, la utilizarea acestei metode, ponderea atribuită punctelor marcate pe grafic este funcţie de axele de coordonate alese.

Pentru concordanţa unei funcţii empirice cu un şir de date se recomandă următoarele criterii [1] :

a. Criteriul grafic de coordonanţă ce constă din trei etape, şi anume :

- scrierea relaţiei presupuse, $f(x,y,a,b) = o$ într-o formă liniară în raport cu funcţiile alese F_1 şi F_2, care nu conţin constantele arbitrare a sau b, adică :

$$F_1 = A + B \cdot F_2 \qquad (3.1)$$

- calcularea lui F_1 şi F_2 pentru cîteva perechi de valori ale lui x şi y mult diferite între ele ;

- trasarea graficului lui F_1 funcţie de F_2 . In cazul în care se obţine o dreaptă ecuaţia adoptată poate fi satisfăcătoare.

b. Criteriul tabelar de concordanţă indicat în cazurile în care există mai mult de două constante arbitrare depinde de ecuaţia adoptată, dar, în general, constă din :

- trasarea unui grafic după datele experimentale ;
- întocmirea unei tabele, cu ajutorul acestui grafic ;
- calcularea anumitor diferenţe succesive ;
- verificarea constantei aproximative a şirului final de diferenţe, ceea ce ne indică dacă ecuaţia adoptată este adecvată sau nu.

In cazul în care datele obţinute în urma experimentărilor sînt aşezate în tabele,primele două etape enunţate mai sus nu vor mai fi necesare.

In tabela 3.4, sînt trecute diferite procedee şi criterii de verificare pentru cele mai multe tipuri comune de ecuaţii [1] .

Tabela 3.4. Procedee şi criterii pentru verificarea concordanţei diferitelor forme de ecuaţii cu datele considerate

Cazul	Forma de ecuaţie adoptată	Procedee bazate pe valoarea constantă a lui Δx_1, $\Delta(\frac{1}{x})$ sau $\Delta \lg x$		Criteriul de concordanţă
		Se trasează graficul, apoi se întocmeşte o tabelă cu	Se calculează diferenţele succesive de mai jos.	
1.	$y = a+b\,x + c\,x^2 \ldots + q\,x^n$	$y = f(x)$	$\Delta y;\ \Delta^2 y;\ \Delta^3 y; \ldots; \Delta^n y$	$\Delta^n y$ este constant
2.	$y = a+\frac{b}{x} + \frac{c}{x^2} + \ldots + \frac{q}{x^n}$	$y = f(\frac{1}{x})$	$\Delta y;\ \Delta^2 y;\ \Delta^3 y; \ldots; \Delta^n y$	$\Delta^n y$ este constant
3.	$y^2 = a+b\,x + c\,x^2 + \ldots + q\,x^n$	$y^2 = f(x)$	$\Delta y^2;\ \Delta^2 y^2;\ \Delta^3 y^2; \ldots; \Delta^n y^2$	$\Delta^n y^2$ este constant
4.	$\lg y = a+b\,x + c\,x^2 + \ldots + q\,x^n$	$\lg y = f(x)$	$\Delta(\lg y);\ \Delta^2(\lg y); \ldots; \Delta^n(\lg y)$	$\Delta^n(\lg y)$ este constant
5.	$y = a + b(\lg x) + c(\lg x)^2$	$y = f(\lg x)$	$\Delta y;\ \Delta^2 y$	$\Delta^2 y$ este constant
6.	$y = a\,b^x = a\,e^{b'x}$	$\lg y = f(x)$	$\Delta(\lg y)$	$\Delta(\lg y)$ este constant
7.	$y = a+b.c^x = a + b\,e^{c'x}$	$y = f(x)$	$\Delta y;\ \lg \Delta y;\ \Delta(\lg \Delta y)$	$\Delta(\lg \Delta y)$ este constant
8.	$y = a+b\,x + c\,d^x = a + b\,x + c\,e^{d'x}$	$y = f(x)$	$\Delta y;\ \Delta^2 y; \lg \Delta^2 y;\ (\lg \Delta^2 y)$	$\Delta(\lg \Delta^2 y)$ este constant

Continuare tabela 3.4

1	2	3	4	5
9	$y = a\,x^b$	$\lg y = f(\lg x)$	$\Delta(\lg y)$	$\Delta(\lg y)$ este constant
10	$y = a + b\,x^c$	$y = f(x)$	$\Delta y;\ \lg \Delta y;\ \Delta(\lg \Delta y)$	$\Delta(\lg \Delta y)$ este constant
11	$y = a\,x\,e^{b\,x}$	$\ln y = f(x)$	$\Delta \ln y;\ \Delta \ln x$	$(\Delta \ln y - \Delta \ln x)$ este constant

După alegerea unei forme satisfăcătoare de ecuaţii sau după ce s-a dedus, în cazul ecuaţiei raţionale, urmează găsirea valorilor adecvate ale constantelor.

Dintre metodele utilizate pentru determinarea constantelor, se amintesc următoarele :

a) Metoda grafică a liniei drepte, care se poate utiliza pentru ecuaţiile simple cu una sau două constante arbitrare. Această metodă de evaluare constă în continuarea criteriului grafic de concordanţă [1] .

b) Metoda grafică a liniei drepte. Această metodă utilizată în cazul ecuaţiilor cu trei constante arbitrare, ca de exemplu :

$$y = a + b\,x + c\,x^2 \qquad (3.2)$$

$$y = a + b\,x^c \qquad (3.3)$$

$$y = a + b.c^x \qquad (3.4)$$

constă în eliminarea mai întîi a uneia dintre constante şi apoi în prelucrarea ecuaţiei rezultate, cu două constante, după metoda precedentă.

Pentru eliminarea uneia dintre constante există mai multe posibilităţi. Un exemplu poate fi ilustrat plecînd de la ecuaţia (3.2). Astfel, pentru a-l elimina pe a se poate deplasa originea sistemului de coordonate într-un punct convenabil (x_o, y_o) din vecinătatea punctelor reale, marcate pe grafic, prin care ştim că trebuie să treacă curba. Coordonatele punctelor în noul sistem de coordonate, devin $x - x_o = x'$ şi $y - y_o = y'$. Deoarece curba trece acum prin origine, ea va avea forma :

$$y' = b'.x' + c'.x'^2 \qquad (3.5)$$

care poate fi scrisă şi astfel :

$$\frac{y'}{x'} = b' + c'.\,x' \qquad (3.6)$$

Valorile lui b' şi c' se găsesc cu ajutorul unui grafic al lui $y'/x' = f(x')$.

c. Metoda punctelor alese. Această metodă comportă următoarele patru etape :

- construirea fără frînturi, prin puncte, a curbei y în funcţie de x ;

- alegerea unui număr de puncte pe curbă egal cu numărul n de constante arbitrare conţinute de ecuaţia aleasă ;

- înlocuirea succesivă a acestor n perechi de valori ale lui x şi y în ecuaţia aleasă şi obţinerea în felul acesta a unui sistem de n ecuaţii cu n necunoscute ;

- determinarea constantelor căutate prin rezolvarea acestui sistem de n ecuaţii.

In cazul în care după verificare se constată că, ecuaţia aleasă nu este capabilă să reprezinte în mod satisfăcător datele, se va încerca o altă formă de ecuaţie.

d. Metoda mediilor (a valorilor medii). Particularitatea acestei metode, aplicabilă numai pentru forme liniare de ecuaţii în raport cu constantele ei arbitrare (scrise sub forma ecuaţiei (3.2) , constă în alegerea particulară a punctelor ; metoda în sine se bazează de fapt, tot pe metoda punctelor alese.

Pentru o ecuaţie $y = f(x)$, care conţine n constante arbitrare, aplicarea acestei metode comportă următoarele etape :

- împărţirea celor N perechi de valori x, y, observate, în aproximativ n grupe egale şi alegerea pentru fiecare grupă numai a perechilor care corespund la puncte vecine pe grafic ;

- calcularea mediei valorilor x şi y pentru fiecare grup în parte în vederea obţinerii a n perechi de valori x, y .

- aplicarea metodei punctelor alese folosind drept coordonate ale punctelor aceste n perechi de valori medii, x şi y.

Rezultatele obţinute depind, întrucîtva, de modul în care au fost grupate cele N perechi iniţiale de valori.

Această metodă nu necesită trasarea unui grafic şi este mai puţin laborioasă în raport cu alte metode.

e. Metoda momentelor. Avînd în vedere că această metodă nu este recomandabilă, atît datorită incertitudinii rezultatelor cît şi pentru volumul mai mare de lucru pe care-l necesită, nu se va trata în curs. Descrierea ei se găseşte în lucrarea [1].

In cazul ecuaţiilor liniare în raport cu constantele lor arbitrare, rezultatele obţinute folosind una din metodele de mai sus,pot fi în general îmbunătăţite utilizînd aproximaţiile succesive.

Astfel, dacă se consideră ecuaţia adusă la următoarea formă liniară în raport cu constantele arbitrare:

$$y = a + b\,x + c.x^2 + \ldots \qquad (3.7)$$

şi dacă se notează cu a', b', c', y'_c etc. valorile constantelor arbitrare şi valorile lui y calculate în prima aproximaţie folosind una din metodele descrise mai sus, procedeul

pentru obţinerea celei de a doua aproximaţii este următorul :

- se calculează diferenţele $y - y'_c$ pentru diferite valori date lui x ;

- se reprezintă grafic diferenţa $(y - y'_c)$ în funcţie de x, căutînd să se traseze o curbă netedă care să treacă prin punctele marcate ;

- se găseşte ecuaţia acestei curbe, printr-o metodă convenabilă ;

- se adună această ecuaţie de corecţie la ecuaţia corespunzătoare primei aproximaţii şi se obţine ecuaţia pentru a doua aproximaţie.

In cazul în care rezultatul nu este satisfăcător, se pot obţine după acelaşi procedeu aproximaţii de ordin superior (trei, patru etc.).

Se menţionează că, în general, timpul necesar se poate scurta,dacă folosim de la început în aproximaţia întîi numai valorile rotunjite ale constantelor arbitrare.

3.2. Erori de măsurare

3.2.1. Erori în general

Din cauza imperfecţiunii simţurilor, a aparatelor, a metodelor folosite şi datorită mediului, orice măsurare fizică implică erori, ce pot fi eventual, micşorate, dar niciodată suprimate.

M.F. Malikov precizează : "eliminarea erorilor constituie o problemă de bază a tehnicii măsurărilor precise". [2]. Rezolvarea acestei probleme deschide perspective largi pentru obţinerea unor rezultate din ce în ce mai riguroase. Totuşi,ţi-

nînduwse seama de cele expuse în capitolul 2, precum şi de cele ce se vor arăta în continuare se poate evidenţia faptul că, mărimea preciziei nu poate merge dincolo de orice limită.

Rezultă deci că, între valoarea adevărată a unei mărimi, X - stabilirea ei fiind inaccesibilă experienţei - şi valoarea individuală măsurată a unei mărimi, x , va exista întotdeauna o diferenţă numită eroare.

In funcţie de izvorul care generează erorile de măsurare acestea se pot divide în :

a. Erori de instrument ;

b. Erori personale ;

c. Erori datorită mediului.

Erorile de instrument (instrumentale) provin din imperfecţiunea instrumentelor sau aparatelor de măsurare.

Erorile personale se datoresc imperfecţiunii organelor sensitive ale observatorului.

Erorile cauzate de mediu se datoresc influenţelor condiţiilor exterioare în care se efectuează măsurările şi anume : temperatura şi umiditatea aerului, presiunea barometrică, iluminarea şi altele.

Toate erorile pot fi împărţite în trei categorii şi anume :

α. Erori sistematice ;

β. Erori întîmplătoare (erori accidentale) ;

γ. Erori grosolane (greşelile).

Erorile sistematice sînt cauzate în majoritatea cazurilor de indicaţiile greşite ale aparatelor, de metoda propriu - zisă de măsurare sau, în sfîrşit, de o influenţă exterioară

constantă care acţionează mereu în acelaşi sens.

După legile lor de variaţie, erorile sistematice pot fi: constante, variabile proporţional, variabile periodic şi variabile după o lege oarecare.

Influenţa erorilor sistematice asupra rezultatului măsurării poate fi stabilită prin verificarea aparatelor şi prin introducerea unor corecţii corespunzătoare. Este bine ca înainte de a începe prelucrarea datelor obţinute prin măsurători, să le eliberăm de erorile sistematice, care le însoţesc. Evident că, în general, erorile sistematice vor fi cu atît mai greu de stabilit, cu cît precizia urmărită este mai mare.

Eroarea sistematică nestăpînită, este eroarea sistematică pentru care nu s-a putut determina, sau nu s-a considerat util să se determine valoarea şi va fi considerată ca eroare întîmplătoare.

Erorile întîmplătoare apar independent de erorile sistematice şi pot fi micşorate prin perfecţionarea metodelor de lucru sau a aparatelor folosite. Trebuie subliniat faptul că aceste erori nu pot fi înlăturate ci numai micşorate. Aceste erori apar la măsurare diferite ca mărime şi sens şi nu pot fi prevăzute.

Erorile întîmplătoare se datoresc fluctuaţiilor întîmplătoare ale aparatelor de măsurat, mediului exterior, sau atenţiei observatorului.

Erorile grosolane (greşelile) au valori mai mari decît erorile la care ne putem aştepta în timpul măsurărilor şi denaturează cu mult rezultatul măsurării. Aceste erori provin dintr-o manipulare greşită, din alegerea nepotrivită a metodei de măsurare, din întrebuinţarea unei metode de calcul neexacte

etc. Rezultatele ce cuprind astfel de erori de măsurare trebuiesc excluse din şirul de rezultate.

3.2.2. Valorile unei mărimi

3.2.2.1. Valoarea adevărată a unei mărimi

Aceasta este valoarea exactă, fără erori, a unei mărimi şi se va nota cu X. Stabilirea acestei valori este inaccesibilă experienţei.

3.2.2.2. Valoarea efectivă a unei mărimi

Aceasta este valoarea unei mărimi obţinute prin măsurare şi mijloace de măsurare etaşon şi se va nota cu X_e.

3.2.2.3. Valoarea individuală măsurată a unei mărimi

Această valoare se obţine pentru mărimea care interesează, printr-o singură operaţie de măsurare.

3.2.2.4. Valoarea individuală a unei mărimi

Această valoare rezultă din valoarea individuală măsurată a unei mărimi după eliminarea erorilor sistematice şi se va nota în cele ce urmează cu l.

3.2.2.5. Valoarea medie (aritmetică) a unei mărimi

Alegerea celei mai bune valori care trebuie considerată drept valoare adevărată, este una dintre problemele fundamentale care se pun în teoria erorilor. Experienţa arată, iar teoria calculului probabilităţilor justifică, faptul "că cea mai bună valoare este media aritmetică, deoarece media aritmetică a unui şir suficient de mare de măsurători de egală precizie tinde către valoarea precisă (adevărată) cu atît mai exact, cu cît numărul măsurătorilor este mai mare" [2].

Dacă presupunem că la măsurările efectuate asupra unei

anumite mărimi rezultatele sînt eliberate de erorile sistematice şi grosolane şi dacă şirul celor n valori individuale este $l_1, l_2, l_3 \dots l_n$, media aritmetică a valorilor individuale l_i este dată de relaţia :

$$\bar{l} = \frac{\sum_{i=1}^{n} l_i}{n} \qquad (3.8)$$

Valoarea medie aritmetică se bucură de proprietatea că suma pătratelor abaterilor pentru cele n valori individuale luate în raport cu ea, adică

$$(\bar{l} - l_1)^2 + (\bar{l} - l_2) + (\bar{l} - l_3) + \dots + (\bar{l} - l_n)^2$$

este minimă.

3.2.2.6. Valoarea mediană

Presupunem la fel ca şi mai sus, un şir de n valori individuale, însă aranjate acum în ordinea crescătoare a numerelor.

Dacă n este impar, valoarea mediană X_m este egală cu valoarea individuală a mărimii l_i care ocupă rangul median în şirul numerelor $l_1, l_2, l_3 \dots, l_n$ aranjat în ordine crescătoare.

In cazul în care n este un număr par, se utilizează adeseori drept valoare a medianei, media aritmetică a valorilor extreme ale intervalului median :

$$X_m = \frac{1}{2}(l_k + l_{k+1}) \qquad (3.9)$$

In alte cazuri, se ia ca valoare mediană valoarea cea mai probabilă a mărimii măsurate.

Această valoare mediană se bucură de proprietatea că, suma abaterilor absolute a celor n valori individuale luate în raport cu ea, adică :

$$|l - X_m| + |l_2 - X_m| + \dots + |l - X_m|$$

este minimă.

3.2.2.7. Valoarea medie ponderată a măsurărilor

In unele cazuri, la determinarea valorii mărimii măsurate, este necesară o interpretare a rezultatelor unor măsurări de precizie diferită, obținute prin măsurarea cu diverse aparate cu diferite grade de precizie, în diferite condiții de măsurare etc. Pentru aceste cazuri este imposibil să se considere **valoarea** cea mai apropiată de valoarea reală a mărimii măsurate, valoarea medie aritmetică a măsurărilor, deoarece ar însemna să se atribuie o egală pondere (greutate) acestor mărimi ceea ce nu este corect. In acest caz, fiecărui rezultat trebuie să i se atribuie o pondere proprie, adică un număr care caracterizează gradul justeței fiecărei serii de măsurări; cu cît precizia măsurărilor va fi mai mare, cu atît mai mare va fi numărul care se atribuie acestui rezultat.

Dacă presupunem că $l_1, l_2, l_3, \dots l_n$, reprezintă valorile independente între ele rezultate la măsurarea unei mărimi anumite prin diverse procedee și $p_1, p_2, p_3, \dots p_n$ reprezintă ponderile corespunzătoare ale măsurărilor, relația:

$$\bar{l}_o = \frac{l_1 p_1 + l_2 p_2 + l_3 p_3 + \dots + l_n p_n}{p_1 + p_2 + p_3 \dots + p_n} \qquad (3.10)$$

va permite calculul valorii medii ponderate a măsurărilor.

Se menționează că orice rezultat cu ponderea p poate fi tratat ca media aritmetică a unui șir de măsurători de egală precizie, iar ponderea p poate fi privită ca un număr care arată cîte determinări de egală precizie trebuie să luăm pentru ca media lor aritmetică să aibă aceeași precizie ca și rezultatul dat.

In mod obișnuit, în practică, se ia ponderea uneia

dintre mărimi egale cu unitatea, adică $p = 1$, deoarece numerele p sînt în realitate niște rapoarte, adică au valori proporționale.

3.2.3. Calculul erorilor în cazul măsurărilor directe

3.2.3.1. Eroarea adevărată a valorii individuale

Aceasta este eroarea de măsurare a valorii individuale față de valoarea adevărată a mărimii măsurate și se calculează cu relația :

$$\delta = l_i - X \qquad (3.11)$$

In realitate nu se cunoaște valoarea adevărată a mărimii măsurate X și de aceea nu putem cunoaște nici pe δ .

3.2.3.2. Eroarea aparentă a valorii medii

Teoria erorilor permite ca după un număr cît mai mare de determinări, să cunoaștem dacă nu eroarea adevărată, δ , cel puțin eroarea aparentă ν comisă în raport cu valoarea medie aritmetică.

Astfel, ținînd seama de relația (3.8) și de valoarea individuală, l_1, obținută la prima măsurare, eroarea aparentă pentru această măsurare se va calcula cu relația :

$$\nu_1 = l_1 - \bar{l} \qquad (3.12)$$

Aceste erori pot fi pozitive sau negative. Dacă nu se comit erori de calcul, $\Sigma \nu_i = e$. Din acest motiv valoarea medie a acestor erori nu poate constitui un element convenabil pentru aprecierea măsurătorilor. Deoarece suma algebrică a acestor erori trebuie să fie nulă, efectuarea acestei sume poate servi ca principiu de verificare a calculului.

3.2.3.3. Eroarea medie aritmetică

Unul din factorii care poate servi pentru aprecierea gradului de precizie a unor anumite măsurări este eroarea medie a şirului de măsurări. Această eroare se calculează cu relaţia:

$$\Delta_m = \frac{|\nu_1| + |\nu_2| + \ldots + |\nu_n|}{n} = \frac{\Sigma|\nu_i|}{n} \qquad (3.13)$$

în care $|\nu_i|$ reprezintă valoarea absolută a erprii aparente a valorii medii.

Cu cît această eroare medie aritmetică este mai mare, cu atît precizia este mai mică şi reciproc.

3.2.3.4. Eroarea medie pătratică a valorii individuale

Eroarea medie pătratică a valorii individuale dintr-un şir de măsurări efectuate asupra aceleiaşi mărimi, în aceleaşi condiţii este dată de relaţia :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \ldots + \delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\Sigma\delta_i^2}{n}} \qquad (3.14)$$

iar dacă nu se cunoaşte valoarea adevărată X , va fi dată de relaţia :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\nu_1^2 + \nu_2^2 + \ldots + \nu_n^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\Sigma\nu_i^2}{n-1}} \qquad (3.15)$$

Sensul acestei erori constă în aceea că, pentru un şir foarte mare de măsurători, 68% din toate erorile aparente ale valorilor medii se află sub valoarea dată, iar 32%, peste această valoare.

Pentru un şir de măsurători, eroarea medie pătratică a valorii individuale, luată cu semnul plus, este mai mare ca eroarea medie aritmetică.

Teoria probabilităţii evidenţiază faptul că pentru determinarea preciziei cu care se efectuează operaţiile de măsurare este mai indicată utilizarea erorii medii pătratice în raport cu eroarea medie aritmetică.

Pentru un şir de măsurări la care $n \to \infty$ avem :

$$\Delta_m = 0{,}7979\,\sigma \qquad (3.16)$$

3.2.3.5. Eroarea probabilă a valorii individuale

Eroarea probabilă a unei valori individuale dintr-un şir de măsurări efectuate asupra aceleiaşi mărimi, în aceleaşi condiţii, este eroarea pentru care valorile mai mari şi mai mici decît ea se întîlnesc tot atît de des.

Ea este dată de relaţia :

$$\rho = 0{,}6745\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\nu_i^2}{n-1}} \qquad (3.17)$$

3.2.3.6. Eroarea medie pătratică a valorii medii aritmetice

Această eroare pentru un şir de măsurări efectuate asupra aceleiaşi mărimi, în aceleaşi condiţii este dată de raportul dintre eroarea medie pătratică a valorilor individuale şi rădăcina pătrată a numărului valorilor individuale din şirul considerat.

$$S = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\nu_i^2}{n(n-1)}} \qquad (3.18)$$

Această eroare ne dă limita superioară a diferenţei între valoarea reală care ne interesează şi media aritmetică a valorilor individuale care se obţin la n măsurări.

3.2.3.7. Eroarea limită a valorii individuale

Eroarea limită a unei valori individuale dintr-un şir de măsurări efectuate asupra aceleeaşi mărimi, în aceleaşi condiţii, este eroarea care are o probabilitate practic nulă de a fi depăşită de erorile aparente ale valorilor individuale.

Dacă se consideră şirul de valori individuale distribuite normal (distribuţia lui Gauss) în urma eliminării erorilor sistematice, teoria probabilităţii demonstrează că o eroare aparentă a valorii medii poate fi mai mare decît dublul erorii medii pătratice a valorii individuale în cinci cazuri din 100 şi mai mare decît triplul erorii medii pătratice a valorii individuale în trei cazuri din 1000. Este deci de aşteptat ca o eroare aparentă a valorii medii să nu depăşească triplul erorii medii pătratice a valorii individuale. Probabilitatea ca această valoare să nu fie depăşită este 0,9973, valoare numită prag de siguranţă sau nivel de încredere.

De aceea, se poate admite cu suficientă îndreptăţire, că triplul erorii medii pătratice a valorii individuale, constituie o eroare limită superioară. Deci :

$$\sigma_{lim} = 3 \cdot \sigma \qquad (3.19)$$

3.2.3.8. Eroarea relativă

Erorile definite pînă acum (adevărată, aparentă, medie aritmetică, medie pătratică a valorii individuale, medie pătratică a valorii medii, probabilă, limită) se mai numesc şi erori absolute prin opoziţie cu erorile relative care sînt date de raportul dintre eroarea de măsurare (absolută) şi valoarea de referinţă adoptată (obişnuit valoarea medie aritmetică, $\bar{l}$). In cazul în care se ia drept valoare de referinţă

valoarea medie aritmetică, eroarea relativă se poate exprima sub următoarele două forme :

$$\Delta_{rel} = \frac{\Delta}{\bar{l}} \qquad (3.20)$$

$$\Delta_{rel} = \frac{\Delta}{\bar{l}} \cdot 100 \qquad (3.21)$$

în care Δ reprezintă eroarea absolută luată în considerare.

Erorile relative caracterizează complet rezultatul măsurării în ceea ce priveşte gradul de precizie.

3.2.3.9. Calculul erorii în cazul considerării valorii medii ponderate

In conformitate cu teoria erorilor de măsurare [2], relaţia de legătură dintre ponderea p_i şi eroarea medie pătratică a valorii medii aritmetice a unei serii de măsurări, S, este :

$$p_i = \frac{A}{S^2} \qquad (3.22)$$

A fiind un număr oarecare pozitiv.

In teoria probabilităţilor se demonstrează că dacă p_i se ia invers proporţional cu S^2 conform relaţiei (3.22) eroarea medie pătratică a valorii medii aritmetice în cazul unei serii combinate de măsurări (rezultate din mai multe serii de măsurări de precizie diferită) va fi minimă.

Pentru a aprecia precizia valorii medii ponderate a măsurărilor se foloseşte de obicei eroarea probabilă a mediei,

care se determină cu formula [4] :

$$R = 0{,}6745 \cdot \sqrt{\frac{\sum p_i \, \nu_i^2}{(m-1) \cdot \sum p_i}} \qquad (3.23)$$

în care p_i şi ν_i au semnificaţiile cunoscute, iar m este numărul de şiruri de măsurări.

Ea prezice că, dintr-un mare număr de medii determinate în mod similar, exact o jumătate ar trebui în mod normal să se abată de la media generală, cu o cantitate mai mare ca R .

3.2.3.1o. Corectarea erorilor calculate

Relaţiile de mai sus, pentru determinarea erorilor care caracterizează precizia şirului de măsurări sau a rezultatului măsurărilor sînt valabile numai pentru un număr mare de măsurări. In practică, de obicei avem de-a face cu un număr limitat de măsurări. Din acest motiv se impune (în special cînd ni se cer rezultate riguroase) să se corecteze valorile erorilor calculate.

O metodă pentru corectarea valorilor erorilor calculate cînd numărul de măsurări este limitat, se redă în continuare [4].

Valoarea corectată a erorii se obţine prin înmulţirea erorii calculate cu un factor ξ_α, ce se determină din tabela I în funcţie de $K = n - 1$ (n fiind numărul de măsurări ale şirului) şi de α, care reprezintă probabilitatea apariţiei mărimii date în seria de erori.

De exemplu, valoarea corectată pentru eroarea medie pătratică a valorii individuale σ' se calculează cu relaţia:

$$\sigma' = \xi_\alpha \cdot \sigma \qquad (3.24)$$

în care ξ_α este factorul de corecţie de care s-a amintit

mai sus iar σ este valoarea calculată a erorii medii pătratice a valorii individuale.

Astfel, dacă se pune problema corectării valorii erorii medii pătratice a valorii individuale pentru un şir de $n = 4$ măsurări ($K = 3$) se va lua $\alpha = 68\%$ şi va rezulta din tabela I valoarea $\xi_\alpha = 1{,}19$ pentru factorul de corecţie. Pentru acelaşi număr de măsurări, dacă trebuie corectată eroarea a cărei apariţii are probabilitatea $\alpha = 50\%$ (cazul erorii probabile, de exemplu) va rezulta din tabela I valoarea $\xi_\alpha = 0{,}765$.

3.2.4. Calculul erorilor în cazul măsurărilor indirecte

In cazul în care mărimea măsurată în mod indirect, y , se poate exprima printr-o relaţie funcţională de forma :

$$y = f(X_1, X_2, X_3, \ldots, X_m) \qquad (3.25)$$

în care $X_1, X_2, X_3, \ldots X_m$, sînt mărimile măsurate în mod direct, eroarea măsurării indirecte (probabilă sau limită) se va calcula conform legii de adunare a erorilor medii cu formula [4] :

$$\xi = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + \ldots + D_n^2} \qquad (3.26)$$

în care $D_1, D_2, D_3, \ldots, D_n$ sînt erorile parţiale determinate cu formulele :

$$D_1 = \frac{\partial y}{\partial X_1} \cdot \xi_1; \quad D_2 = \frac{\partial y}{\partial X_2} \xi_2; \quad D_3 = \frac{\partial y}{\partial X_3} \xi_3; \quad \ldots \quad D_m = \frac{\partial y}{\partial X_m} \xi_m.$$

In aceste formule, $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \ldots, \xi_m$ reprezintă erorile rezultatelor măsurării directe a mărimilor cu valorile $X_1, X_2, \ldots, X_m$ iar $\frac{\partial y}{\partial X_1}, \frac{\partial y}{\partial X_2}, \ldots, \frac{\partial y}{\partial X_m}$ sînt derivatele

parțiale ale lui y în raport cu $X_1, X_2, \ldots, X_m$.

In lucrarea [3] , eroarea absolută a mărimii exprimată sub forma relației (3.25) se calculează așa cum se arată în continuare.

Se presupune că la determinarea experimentală, mărimile $X_1, X_2, X_3, \ldots, X_m$, au fost determinate cu erorile absolute, $\Delta X_1, \Delta X_2, \ldots, \Delta X_m$ rezultînd pentru mărimea y eroarea absolută Δy .

Deoarece în mod obișnuit $\Delta y, \Delta X_1, \Delta X_2, \ldots, \Delta X_m$ sînt mici în comparație cu mărimile corespunzătoare, se va putea diferenția ecuația (3.25), adică :

$$dy = \frac{\partial y}{\partial X_1} dX_1 + \frac{\partial y}{\partial X_2} dX_2 + \ldots + \frac{\partial y}{\partial X_m} dX_m \qquad (3.27)$$

și prin înlocuirea semnului d cu Δ , se găsește eroarea absolută :

$$\Delta y = \frac{\partial y}{\partial X_1} \Delta X_1 + \frac{\partial y}{\partial X_2} \Delta X_2 + \ldots + \frac{\partial y}{\partial X_m} \Delta X_m \qquad (3.28)$$

Eroarea relativă se găsește împărțind ecuația (3.27) prin ecuația (3.25) și apoi schimbînd semnul d cu Δ . Astfel, se găsește :

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{1}{y} \frac{\partial y}{\partial X_1} \Delta X_1 + \frac{1}{y} \frac{\partial y}{\partial X_2} \Delta X_2 + \ldots + \frac{1}{y} \frac{\partial y}{\partial X_m} \Delta X_m \qquad (3.29)$$

Din examinarea formei acestei relații rezultă că pentru determinarea erorii relative $\frac{\Delta y}{y}$ trebuie să se ia logaritmul natural al expresiei (3.25), adică :

$$d \ln y = d \ln f (X_1, X_2, X_3, \ldots, X_m) \qquad (3.30)$$

și apoi să se înlocuiască semnul d cu Δ .

3.2.5. Distribuția normală a frecvențelor

3.2.5.1. Legea împrăștierii erorilor întîmplătoare

Problema de bază a oricărei experiențe cantitative este de a determina direct sau indirect o valoare, care să se apropie cît mai mult de valoarea adevărată. Cu toate perfecționările aparatelor, instrumentelor și metodelor de experimentare, așa cum s-a mai arătat, există totuși diferențe între valoarea măsurată și valoarea adevărată a mărimii luată în considerație. Indicații prețioase referitoare la relația în care stă valoarea adevărată cu cea măsurată ni le furnizează legea de distribuție a frecvențelor (legea de distribuție a probabilităților) pentru rezultatele măsurărilor sau legea împrăștierii erorilor întîmplătoare.

Experiența a demonstrat că, în operațiile independente, erorile întîmplătoare se grupează în jurul valorii celei mai probabile, așezîndu-se pe o curbă în trepte pentru o distribuție discretă, sau pe o curbă continuă pentru o distribuție continuă.

Deci, este foarte important ca, din datele experimentale și bazați pe unele ipoteze care au drept scop să facă posibilă găsirea unei soluții unice a problemei, să se deducă forma curbelor reprezentative ale distribuției adică să se găsească o ecuație :

$$y = \varphi (x) \qquad (3.31)$$

care să reprezinte curba de densitate a distribuției.

Pentru un număr de măsurări n , suficient de mare, probabilitatea apariţiei unei valori (erori) în intervalul $(x, x+\Delta x)$ este

$$P = y \cdot \Delta x \qquad (3.32)$$

iar probabilitatea ca o valoare a variabilei să fie cuprinsă într-un **interval finit** (x_1, x_2) **este**

$$P(x_1 \leq x \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} \varphi(x)dx \qquad (3.33)$$

3.2.5.2. Legea distribuţiei normale a frecvenţelor

In funcţie de ipotezele făcute, s-au obţinut mai multe forme ale legii de distribuţie a frecvenţelor. Dintre aceatea, legea distribuţiei normale sau, cum este numită cîteodată, legea erorilor, pare să redea distribuţiile observate într-un mare număr de cazuri. In plus, legea distribuţiei normale prezintă şi avantajul simplităţii deoarece conţine numai o singură constantă arbitrară.

Hagen, admiţînd următoarele ipoteze :

- fiecare şir de măsurători este afectat de erori inevitabile ;

- fiecare din aceste erori poate fi concepută ca fiind compusă dintr-un număr de erori elementare egale, foarte mici ;

- probabilitatea ca o eroare elementară să fie afectată de semnele plus şi minus este **aceeaşi**, găseşte pentru legea normală de distribuţie a frecvenţelor, relaţia :

$$y = K.e^{-h^2.x^2} \qquad (3.34)$$

în care h este un parametru ce caracterizează mărimea erorilor de care sînt afectate rezultatele operaţiilor experimentale

şi care poartă numele de măsură a preciziei sau **modul de precizie** şi x reprezintă o eroare accidentală de măsurare.

Intre ponderea p_i şi modulul de precizie (sau parametrul de precizie) h există relaţia :

$$p_i = h^2 \qquad (3.35)$$

Luînd în considerare şi relaţia (3.22) rezultă că, cu cît eroarea maximă este mai mică cu atît precizia este mai bună şi invers.

Relativ la constanta K , se demonstrează că pentru a fi satisfăcută condiţia de normare :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} y.dx = 1 \qquad (3.36)$$

rezultă pentru fiecare valoare h o valoare pentru K şi anume $K = \frac{h}{\sqrt{\pi}}$, rezultînd pentru legea de distribuţie normală a frecvenţelor, relaţia :

$$y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} \qquad (3.37)$$

Metoda lui Gauss plecînd de la ipoteza că cea mai bună aproximaţie pentru valoarea adevărată o constituie media aritmetică a determinărilor făcute cu egală precizie, reuşeşte să găsească pentru legea de distribuţie normală a frecvenţelor aceeaşi relaţie, adică ecuaţia (3.37).

Reprezentarea grafică a ecuaţiei (3.37) căreia i se mai spune şi curba în clopot a lui Gauss este redată în fig. 3.7.

Uneori, o curbă de distribuţie normală a frecvenţelor este adaptată la datele observate spre a găsi probabilitatea căutată a apariţiei unei abateri care se găseşte între x_1 şi x_2.

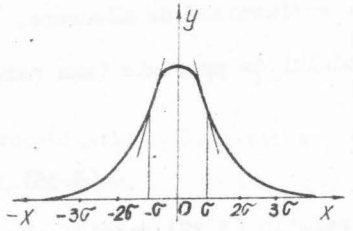


Fig. 3.7. Reprezentarea grafică a ecuației $y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 \cdot x^2}$ (se consideră $x = \pm \sigma$)

Referitor la ecuația (3.37) se menționează că uneori este inc mod de operat cu ea exprimînd erorile calculate în unitățile de măsurare ale mărimii căutate (de exemplu: °C, m/s, m etc). Din acest motiv unii autori [3] au exprimat ecuația (3.37) și sub forma :

$$y = \frac{n}{\sigma} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\xi^2}{2}} \qquad (3.)$$

în care : $\xi = \frac{\nu_i}{\sigma}$, (ν_i și σ avînd semnificațiile cunoscute) iar n - numărul de măsurări.

In felul acesta, prin ξ se exprimă eroarea aparentă a fiecărei măsurări în fracțiuni din eroarea medie pătratică a valorii individuale.

Pentru ușurința calculului s-au întocmit tabele pentru funcția :

$$\varphi(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\xi^2}{2}} \qquad (3.39)$$

In tabela II din anexă sînt trecute valorile funcției $\varphi(\xi)$ după variabila independentă ξ [3].

De asemenea, pentru calculul numărului erorilor, în tabela III din anexă s-a dat suprafața de sub curba normală pentru valorile de la $-\infty$ pînă la ξ [3].

3.2.5.3. Criteriul lui Chauvenet

Sînt posibile situații cînd într-un șir de rezultate apare una sau două valori care diferă considerabil de restul

valorilor din șir. Deși s-ar părea că astfel de valori ar putea apare numai în cazul unui șir foarte mare de rezultate, este foarte posibil ca astfel de rezultate să apară chiar și la un număr redus de citiri, ceea ce ar conduce la o influență disproporționat de mare asupra valorii medii. Din acest motiv se impune eliminarea acestor citiri.

Pentru eliminarea acestor citiri au fost stabilite mai multe criterii dintre care criteriul lui Chauvenet este cel mai recomandat de literatura de specialitate [1].

Criteriul lui Chauvenet "stabilește că orice citire dintr-un șir de n citiri trebuie eliminată dacă abaterea ei de la media șirului este astfel încît probabilitatea de apariție a tuturor abaterilor egale cu ea sau mai mari nu depășește 1/2 n " [1] .

Exprimat sub formă de ecuație acest criteriu stabilește că dacă abaterea x a unei citiri, de la medie, este mai mare ca abaterea $\bar{x}$, unde $\bar{x}$ este definit prin

$$1 - P_{\bar{x}} = 1 - \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{-\bar{x}}^{+\bar{x}} e^{-h^2 \cdot x^2} \, dx = \frac{1}{2n} \qquad (3.40)$$

citirea respectivă trebuie eliminată.

Cu ajutorul tabelei IV din anexă se pot determina valorile lui $\bar{x}$ în funcție de n .

In cazul în care s-a eliminat o valoare pe baza acestui criteriu și dacă urmează să se mai supună criteriului și o a doua valoare, se va lua în calcul de data aceasta n-1 citiri deoarece valoarea eliminată nu mai poate constitui un element al șirului.

Criteriul lui Chauvenet se poate repeta pînă cînd se constată că nici o valoare nu iese în afara limitelor fixate prin ecuaţia (3.4o).

BIBLIOGRAFIE

1. Worthing, A.G., Geffner, J., — Prelucrarea datelor experimentale. Ed.Tehnică, Bucureşti, 1959.

2. Plăcinţeanu, I.Ioan, — Teoria erorilor de măsurare şi metoda celor mai mici pătrate. Ed.Tehnică, Bucureşti, 1957.

3. Сорочо-Новицкий, Б. Я. Испытания автотракторных двигателей, Машгиз Москва, 1960

4. Preobrajenski, V.P., — Măsurări şi aparate de măsurat termotehnice. Ed.Tehnică, Bucureşti, 196o.

5. S T A S 2872 - 59 . — Erori de măsurare.

Capitolul 4

GENERALITATI ASUPRA MASURARILOR

4.1. Generalităţi privind măsurările efectuate în cadrul experimentării maşinilor termice şi mărimile fundamentale determinate la aceste experimentări

Experimentările la maşinile termice pot fi făcute la standurile de probă cînd se urmăreşte funcţionarea maşinii în vederea stabilirii performanţelor sau cînd se studiază anumite fenomene în anumite condiţii de funcţionare, direct la locurile de instalare ale agregatelor de cazane, turbine, compresoare, instalaţii frigorifice etc., la cercetarea unor procese pe standurile de încercări construite special în acest scop, la cercetarea unor procese sau fenomene pe modele, la studiul funcţionării maşinii în ansamblu, pe modele etc.

Aceste experienţe au ca scop : stabilirea performanţelor unor maşini şi agregate termice ce urmează a fi construite în serie sau care se construiesc deja, îmbunătăţirii unor performanţe cum ar fi de exemplu creşterea economicităţii în funcţionare, mărirea durabilităţii etc., elucidării unor fenomene care nu sînt clarificate, realizarea unor noi tipuri de maşini şi agregate termice etc.

Lucrările experimentale efectuate în cadrul maşinilor termice comportă executarea măsurării unei game largi de para-

metri și mărimi.

Astfel, printre mărimile și parametrii comuni care se determină la experimentările mașinilor termice se pot aminti : turația, timpul, viteza fluidului, debitul de apă, combustibil, aer sau gaze, momentul sau forța la frînă, compoziția gazelor arse, parametrii mediului ambiant, temperatura fluidului de lucru, temperaturile organelor sau ale unor piese, presiunea fluidului etc.

In funcție de tipurile de mașini, agregate și instalații termice se determină la experimentarea acestora următoarele mărimi și parametri :

- la motoarele cu ardere internă cu piston : turația, momentul sau forța la frîne, consumul de combustibil, debitul de aer, temperatura aerului, gazelor și a diferitelor organe, presiunea instantanee și medie a fluidului de lucru, presiunea încărcăturii proaspete, presiunea gazelor evacuate, deplasarea pistonului și a supapelor, vibrații, viteze și accelerații, timpul etc;

- la turbinele cu abur și gaze : turația, timpul, presiunea și temperatura fluidului de lucru, entalpia aburului la turbinele cu abur și componenții gazelor la turbinele cu gaze, deplasarea axială, temperaturile paletelor sau ale altor organe, vibrațiile, debitele fluidului de lucru, momentul etc ;

- la compresoare : turația, timpul, presiunea, temperatura și debitul fluidului de lucru, deplasările pistonului și supapelor (la compresoarele cu piston), vibrații, viteze și accelerații, temperaturi ale unor organe, momentul la arborele sau axul compresorului etc ;

- la cazanele cu abur și la camerele de ardere ale turbi-

nelor cu gaze: temperaturile și presiunile, debitul de combustibil, aer și apă, nivelul de lichid și titlul vaporilor de apă (pentru cazanele de abur), fluxul termic, vitezele, componenții gazelor, vibrații etc.;

- la instalațiile frigorifice: debitul de agent frigorific, debitul de saramură, temperaturile agentului frigorific și a saramurii, presiunile agentului frigorific în diferite puncte ale instalației, energia consumată pentru diferite condiții de funcționare, precum și unele mărimi și parametri care se determină la compresoare.

Referitor la măsurările care au fost amintite se poate menționa că pe lîngă metodele de măsurare clasice care au fost perfecționate continuu în ultimii ani au început să se folosească noi metode de măsurare și noi tehnici de investigație la cercetarea experimentală a mașinilor termice.

Astfel, folosindu-se sonde speciale se măsoară curentul de ionizare pentru determinarea zonelor din flacără în care se produc reacții chimice, pentru determinarea intensității lor precum și pentru evidențierea mișcării turbionare a gazelor; folosindu-se plasma se pot cerceta unele aspecte ale proceselor de ardere. Utilizarea sondelor de tip calorimetric permite determinarea directă a fluxului termic în cazul experimentării mai ales a cazanelor de abur și apă caldă a camerelor de ardere de la turbinele cu gaze.

Printre metodele moderne de investigație experimentală se mai pot aminti : metoda striografică care poate pune în evidență neuniformitățile din mediile transparente, metoda holografică cu care se poate cerceta procesele de ardere, propagarea vibrațiilor etc, metoda cromatografică pentru analiza gazelor

de ardere, metoda de cercetare a uzurii cu ajutorul izotopilor radioactivi, metode de măsurare fără contact a temperaturii etc.

4.2. Corelaţia care există între mărimile care se pot măsura şi cele care pot fi calculate

Aşa cum s-a amintit în capitolul 2 nu toate mărimile se pot determina prin măsurări directe ; unele mărimi se determină prin măsurări indirecte.

Astfel, pentru determinarea consumului specific g_e [g/kWh] la un motor cu ardere internă cu piston este necesar să se determine puterea efectivă N_e [kW] şi consumul orar de combustibil G_c [kg/h]. In acest caz consumul specific se va determina cu relaţia :

$$g_e = \frac{G_c}{1000.N_e} \qquad (4.1)$$

In cazul în care puterea efectivă se determină la standul de încercări cu o frînă hidraulică prevăzută cu un braţ de care se suspendă un taler cu greutăţi va fi necesar să se măsoare turaţia, n , şi să se cunoască valoarea braţului, L , precum şi valoarea greutăţilor atîrnate de braţ, F , pentru calculul puterii efective, N_e .

$$N_e = C_1 \, F.n \qquad (4.2)$$

In relaţia (4.2) C_1 este o constantă care depinde atît de lungimea braţului frînei cît şi de unităţile de măsură în care se exprimă puterea efectivă, N_e.

Consumul orar de combustibil, G_c, se determină în raport cu timpul de consum t al unui volum oarecare din vasul de măsurare, adică:

$$G_c = \frac{3600.C_2}{t} \text{ kg/oră} \qquad (4.3)$$

unde C_2 este o constantă ce depinde de volumul vasului de măsurare şi de greutatea specifică a combustibilului şi t - timpul de consum, măsurat în secunde.

Inlocuind în relaţia (4.1) valorile lui N_e şi G_c date de relaţiile (4.2) şi respectiv (4.3), se obţine :

$$g_e = \frac{C_2}{C_1} \cdot \frac{3,6}{F.t.n} = \frac{C}{F.t.n} \qquad (4.4)$$

unde C este o constantă care se calculează cu relaţia

$$C = 3,6 \frac{C_2}{C_1} \qquad (4.5)$$

Pentru a obţine precizia cu care se determină consumul specific de combustibil se logaritmează relaţia (4.4)

$$\ln g_e = \ln C - \ln F - \ln t - \ln n \qquad (4.6)$$

şi apoi prin diferenţierea acesteia şi a admiterii aceluiaşi semn pentru toţi termenii, se obţine

$$\frac{d\, g_e}{g_e} = \frac{dF}{F} + \frac{dt}{F} + \frac{dn}{n} \qquad (4.7)$$

sau prin înlocuirea lui d cu Δ se obţine în final relaţia:

$$\frac{\Delta g_e}{g_e} = \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta n}{n} \qquad (4.8)$$

De exemplu, presupunînd că timpul de consum al combustibilului este determinat cu precizia relativă $\frac{\Delta t}{t}$ = o,ol, sensibilitatea frînei presupunînd-o $\frac{\Delta F}{F}$ = o,ol5 iar precizia

relativă la măsurarea turației fiind $\frac{\Delta n}{n} = 0,02$ rezultă prin înlocuirea acestor valori în relația (4.8).

$$\frac{\Delta g_e}{g_e} = 0,015 + 0,01 + 0,02 = 0,045$$

Astfel, consumul specific în acest caz se poate determina cu o precizie relativă de 4,5%.

Este foarte important ca pentru unele măsurări indirecte să se evidențieze, așa cum s-a arătat mai sus, precizii relative pentru a se vedea pe de o parte dacă erorile introduse la determinarea unora dintre mărimile care intervin în calculul mărimii căutate nu sînt prea mari sau, eventual, pentru a se observa dacă metodele de lucru alese pentru determinarea unora dintre mărimile care intervin în calculul mărimii căutate nu prezintă o precizie inutil de mare în raport cu precizia care se cere pentru mărimea căutată.

BIBLIOGRAFIE

1. Tölle, H. Măsurări la instalațiile termice. Ed.Tehnică, București, 1973.

2. Сороко-Новицкий, В.И. Испытания автотракторных двигателей Машгиз, Москва, 1960

Capitolul 5

MĂSURAREA TEMPERATURILOR

5.1. Temperatura, scări de temperatură și puncte fixe

Temperatura este o mărime fizică care caracterizează gradul de încălzire al corpurilor.

Temperatura poate fi definită și ca o mărime de stare termică. Valoarea acestei mărimi este condiționată de energia medie cinetică moleculară a corpului dat ($E = \frac{1}{2} K T$, în care constanta K a lui Bolzmann se poate lua $1,3803.10^{-16}$ erg.grd^{-1}. Astfel, la contactul a două corpuri, de exemplu gazoase, se va transmite căldura de la un corp la altul pînă cînd energiile medii cinetice moleculare ale acestor două corpuri se vor egaliza.

In conformitate cu principiul zero al termodinamicii, care bazat pe experiență arată că "două medii în echilibru termic cu un al treilea sînt în echilibru și între ele", rezultă că temperatura este proprietatea comună care asigură echilibrul termic mutual al acestor medii. Egalitatea temperaturilor a două medii este definită prin condiția de echilibru a acestora.

Proprietatea stărilor de echilibru termodinamic oferă posibilitatea comparării valorilor temperaturilor a două sau mai multe corpuri, fără a le pune în contact termic direct,

prin folosirea unui corp intermediar (elementul sensibil al termometrului) care să fie pus pe rînd în contact termic cu fiecare.

Măsurarea temperaturii unui corp cu ajutorul unui aparat se bazează pe fenomenul de schimb de căldură dintre corpuri cu un grad diferit de încălzire şi pe variaţia proprietăţilor fizice ale corpurilor la încălzirea lor.

Pentru determinarea practică a temperaturii au fost fixate diferite scări de temperatură. O scară de temperatură defineşte un şir continuu de numere dependent liniar de valorile numerice ale unei proprietăţi fizice măsurabilă cît mai exact şi care să fie o funcţie univocă şi monotonă de temperatură în intervalul considerat.

Dacă se notează simbolic proprietatea fizică care variază funcţie de temperatură cu y şi cu t temperatura, se poate scrie legea de variaţie liniară sub forma :

$$t = a\,y + b \qquad (5.1)$$

în care constantele a şi b se determină alegîndu-se două temperaturi de bază, reproductibile, cum ar fi de exemplu temperaturile de solidificare sau de fierbere, ale căror valori arbitrare se vor nota cu t_1 şi t_2. Intervalul t_2-t_1 se împarte în n părţi egale şi a n^{-a} parte a acestui interval, numit interval de bază, se ia drept unitate, denumită grad.

In funcţie de t_1 şi t_2 respectiv y_1 şi y_2 ecuaţia (5.1) se poate scrie sub forma :

$$t = t_1 + \frac{y-y_1}{y_2-y_1}(t_2 - t_1) \qquad (5.2)$$

care reprezintă ecuaţia scării de temperatură.

Valorile atribuite temperaturilor t_1 şi t_2 de topire a gheţii şi respectiv de fierbere a apei sînt pentru scările Celsius, Réaumur şi Fahrenheit, următoarele :

Scara Celsius	$t_1 = 0^oC$	$t_2 = 100^oC$	$n_c = 100$
Scara Réaumur	$t_1 = 0^oR$	$t_2 = 80^oR$	$n_R = 80$
Scara Fahrenheit	$t_1 = 32^oF$	$t_2 = 212^oF$	$n_F = 180$

Scara termodinamică a temperaturii propusă de William Thomson (Lord Kelvin) în 1848 oferă baza teoretică pentru o scară a temperaturii independentă de orice proprietate materială şi se bazează pe ciclul ideal al lui Carnot.

Această scară construită iniţial pe baza a două puncte fixe, de topire a gheţii şi de fierbere a apei, la presiune normală, poartă denumirea de scară termodinamică centigrad.

Scara termodinamică absolută are ca origine a scării, zero-ul absolut al temperaturii. In această scară, valoarea unui grad este egală cu aceea a gradului din scara termodinamică centigrad. Temperaturile în această scară se notează cu simbolul ^oK. Intrucît temperatura de topire a gheţii este în această scară $273,15^oK$, relaţia de legătură între temperatura unui corp măsurată în scările absolută (T) şi centigrad (t) este :

$$T = (273,15 + t)^oK \qquad (5.3)$$

Pentru realizarea în practică a scării termodinamice de temperatură s-a recurs la legile fizice ale gazelor perfecte. S-au construit diferite termometre cu gaz care funcţionează la volum constant sau la presiune constantă.
Datorită complexităţii lucrărilor şi a dificultăţilor experimentale neînlăturate încă, folosirea termometrului cu gaz este greoaie şi totodată nu poate asigura precizia necesară în pre-

zent în practică.

Scara internațională practică de temperatură (SIPT) este o scară stabilită convențional și coincide cu suficientă precizie cu scara termodinamică absolută (Kelvin).

La punctul triplu al apei aceste două scări sînt prin definiție într-un acord exact.

Scara internațională practică de temperatură se bazează pe șase temperaturi reproductibile, denumite puncte fixe de definiție, cărora li s-au atribuit valori numerice determinate în scara termodinamică centigrad. Unul dintre aceste șase puncte este punctul triplu al apei, de care s-a mai amintit, iar celelalte cinci puncte sînt punctele de fierbere ale oxigenului lichid (-182,97o°C), apei (1oo°C) și sulfului (444,6oo°C) și punctele de topire ale argintului (96o,8°C) și aurului (1o63,o°C), toate la presiunea atmosferică normală (1o1,325 N/m^2).

In afara acestor șase puncte de definiție, în tabelele V și VI din anexă, sînt trecute și alte puncte fixe adoptate convențional care se întîlnesc uneori sub denumirea de puncte fixe secundare.

Scara internațională practică de temperatură a fost împărțită în patru intervale, în vederea determinării temperaturilor intermediare prin interpolare sau pentru determinarea temperaturilor superioare lui 1o63,o°C. Aceste intervale și mijloacele adecvate de măsurare adoptate sînt :

a) între -182,97o°C și 0°C se folosește termometrul etalon cu rezistență de platină ;

b) între 0°C și 63o,5°C (punctul de topire al stibiului) se folosește, de asemenea, un termometru etalon cu rezistență de platină însă formula de interpolare este alta [1] ;

c) între 63o,5°C și 1o63,o°C temperatura se măsoară cu ajutorul unui termocuplu din platină, platină-rodiu (1o%), lipiturile reci fiind menținute la 0°C ;

d) dincolo de 1o63°C, temperaturile se determină folosind legile radiației, aparatul fiind pirometrul optic.

Referitor la simbolul °C, cu care se notează gradele centigrade ale scării internaționale de temperatură, se atrage atenția să nu se facă confuzie cu gradele Celsius al scării Celsius.

Referitor la gradul de precizie al scării internaționale practice de temperatură se menționează că, acesta depinde de de o parte de exactitatea cu care poate fi reprodusă această scară și pe de altă parte, cu cîtă exactitate se acordă ea cu scara termodinamică absolută.

Cea mai înaltă reproductibilitate a SIPT are loc la punctul triplu al apei care se poate obține cu o precizie de cîteva zecimi de miimi. Pentru temperaturile mai mici sau mai mari decît ale punctului triplu exactitatea scade. In tabela 5.1 se dau preciziile cu care se realizează reproductibilitatea SIPT pentru cîteva temperaturi [3] .

Tabela 5.1. Gradul de precizie la reproductibilitatea SIPT pentru cîteva temperaturi

Temperatura °K	1	1o	1oo	8oo	15oo	4ooo	1o.ooo
Precizia °K	$\frac{1}{3oo}$	$\frac{1}{1o^3}$	$\frac{1}{2.1o^4}$	$\frac{1}{1o^5}$	$\frac{1}{5.1o^5}$	$\frac{1}{5oo}$	$\frac{1}{15}$

5.2. Generalităţi privind măsurarea temperaturii

Cu excepţia pirometrelor optice care sînt aparate pentru măsurarea temperaturii pe baza radiaţiei termice, aparatele pentru măsurarea temperaturii trebuie să aibă elementul termosensibil în contact cu mediul a cărei temperatură este de determinat. Din acest motiv, cîmpul de temperatură este perturbat întotdeauna, mai mult sau mai puţin, pe de o parte prin faptul că aparatul pentru măsurarea temperaturii sau elementul termosensibil are o anumită masă şi deci o anumită capacitate termică proprie, iar pe de altă parte prin faptul că aceasta provoacă o transmisie de căldură prin convecţie de la mediul sau obiectul de măsurat spre exterior sau invers.

De capacitatea termică proprie a aparatului pentru măsurarea temperaturii sau a elementului termosensibil trebuie să se ţină seama în două situaţii şi anume : atunci cînd capacitatea termică a obiectului a cărui temperatură trebuie să se măsoare este mică,precum şi atunci cînd este de determinat o temperatură care variază cu timpul. In ambele cazuri masa aparatului sau a elementului termosensibil trebuie să fie cît mai redusă.

La măsurarea temperaturii corpurilor solide metodele de măsurare şi aparatura se vor alege în funcţie de faptul dacă aceste corpuri sînt în repaus sau în mişcare,precum şi în funcţie de faptul dacă trebuie să se măsoare temperatura la suprafaţă sau în interiorul corpului.

In cazul măsurării temperaturii lichidelor în repaus transmisia de căldură de la lichid la elementul termosensibil al aparatului este suficientă pentru a nu se recurge la soluţii speciale. Dacă se măsoară temperatura unui lichid care

are o curgere laminară şi dacă secţiunea conductei este suficient de mare se montează un dispozitiv de turbionare în amonte faţă de elementul termosensibil.

La măsurarea temperaturilor mai ridicate ale fluidelor, trebuie să se monteze ecrane în dreptul elementelor termosensibile pentru a micşora erorile datorită radiaţiei.

De asemenea, la măsurarea temperaturii fluidelor,un factor important este realizarea protecţiei mecanice şi chimice a elementului termosensibil al aparatului.

La măsurarea temperaturii gazelor, din cauza transmisiei reduse de căldură de la gaze la elementul termosensibil şi pentru eliminarea influenţei temperaturii canalului de gaze, în cazul măsurărilor de precizie se folosesc construcţii speciale denumite pirometre cu aspiraţie.

In cazul măsurării temperaturii flăcărilor intervin probleme complexe deoarece flacăra este formată din carburant (în diferite faze ale arderii), comburant şi produse rezultate din ardere. Astfel, experienţa recentă efectuată asupra flăcărilor industriale de mari dimensiuni în regim gazodinamic puternic turbulent, a arătat că particulele conţinute în flacără nu prezintă o uniformitate a dimensiunilor cum se credea pînă acum.

Măsurările de temperatură ale flăcărilor se referă la fondul continuu adică se consideră că atît particulele cît şi gazele care le înconjoară au aceeaşi temperatură deşi coeficienţii de radiaţie sînt diferiţi.

5.3. Clasificarea mijloacelor de măsurare a temperaturii

Aparatele pentru măsurarea temperaturii pot fi clasifi-

cate după mai multe criterii şi anume: destinaţia lor, clasa de precizie, poziţia elementului termosensibil în raport cu mediul căruia i se măsoară temperatura, proprietăţile fizice pe baza cărora s-au realizat aceste aparate de măsurare etc.

In funcţie de destinaţia lor aceste aparate se împart în două categorii : de verificare (etalon) şi de lucru. Cele de lucru pot fi tehnice şi de laborator. Aparatele tehnice de măsurare a temperaturii trebuie să permită o manipulare rapidă şi simplă, servind numai la controlul tehnologic al temperaturii. Aparatele de laborator pentru măsurarea temperaturii servesc pentru măsurările de temperaturi în cursul cărora se determină şi se ia în considerare eroarea măsurării.

In funcţie de poziţia elementului termosensibil în raport cu corpul de studiat, se disting : aparate de măsurare a temperaturii cu contact şi aparate de măsurare a temperaturii fără contact.

O clasificare generală a aparatelor de măsurat temperatura în funcţie de proprietăţile fizice, care s-au impus la realizarea acestor aparate cu utilizare largă în tehnică, poate fi făcută astfel [1] :

- Termometre bazate pe dilatarea corpurilor
  - solide
  - lichide
  - gaze
- Termometre sau repere termometrice bazate pe schimbarea stării
  - vapori saturaţi
  - topirea sau variaţia bruscă a viscozităţii unui corp.
  - schimbarea culorii

- Termometre cu rezistenţă electrică
  - metalică
  - termistoare
- Termometre termoelectrice
- Termometre cu cristale de cuarţ
- Termometre bazate pe radiaţia termică a corpurilor
  - optice monocromatice
  - de radiaţie totală
  - de culoare

In fig. I din anexă sînt domeniile obişnuite de utilizare pentru diferite tipuri de termometre [12] .

5.4. Termometre bazate pe dilatarea corpurilor

5.4.1. Termometre bazate pe dilatarea solidelor

Pe acest principiu se construiesc două tipuri de termometre şi anume: termometre cu tijă şi termometre bimetalice.

5.4.1.1. Termometre cu tijă

Aceste termometre se bazează pe dilatarea liniară a tijelor în cazul încălzirii lor.

Schema principială a termometrului cu tijă este arătată în figura 5.1. Semnificaţiile notaţiilor din figură sînt : 1 - tubul confecţionat dintr-un material cu coeficient de dilatare mare (alama pînă la +300°C, nichelul pînă la +600°C, aliajele de crom - nichel pînă la +1000°C), 2 - tija confecţionată dintr-un material cu coeficient de dilatare redus (invar, cuarţ sau ceramică), 3 - pîrghie, 4 - punct de articulaţie, 5 - resort, 6 - ac indicator.

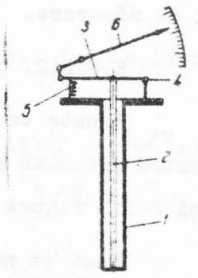


Fig.5.1. Schema principială a termometrului cu tijă.

Din cauza valorilor reduse ale coeficienţilor de dilatare ($11,7 \cdot 10^{-6}$ pentru oţel carbon şi $13,3 \cdot 10^{-6}$ pentru nichel faţă de 10^{-6} pentru invar), aceste termometre se construiesc cu o lungime relativ mare (de ex. 500 mm). Forţele de deplasare la aceste termometre sînt atît de mari, încît principiul de măsurare poate fi folosit şi pentru reglarea temperaturii.

La un astfel de termometru cu o lungime iniţială a tijei, l, alungirea corespunzătoare unei diferenţe de temperatură $\Delta t = t_1 - t_o$ între temperatura iniţială şi cea de măsurat este :

$$\Delta l = \Delta t . l (\alpha_1 - \alpha_2) \qquad (5.4)$$

In această relaţie α_1 şi α_2 sînt coeficienţii de dilatare termică ai tubului, respectiv ai tijei.

Trebuie subliniat faptul că indicaţiile acestor termometre reprezintă de fapt valorile medii ale temperaturii din zona de imersare a tubului.

Eroarea tolerată pentru termometrele cu tijă este în conformitate cu instrucţiunile în vigoare de ±2% din intervalul de măsurare.

5.4.1.2. Termometre bimetalice

Aceste termometre se bazează pe fenomenul de dilatare termică diferită a două metale de natură diferită (ex. metalele A şi B din figura 5.2.a), lipite între ele.

Dacă se modifică temperatura iniţială t_1 a unui element sensibil bimetalic de tipul celui schiţat în figura 5.2.a, acesta se va curba după un arc circular uniform a cărui rază se poate calcula cu relaţia [3] :

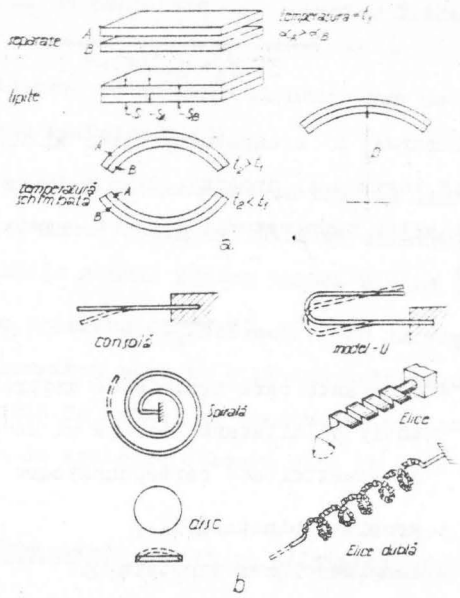


Fig. 5.2. Schematizarea principiului de realizare şi de funcţionare a elementului sensibil bimetalic; diferite realizări de elemente sensibile bimetalice.

$$\rho = \frac{s\,[3(1+m)^2 + (1+m.n)(m^2+1/m.n)]}{6(\alpha_A - \alpha_B)(t_2-t_1)(1+m)^2} \qquad (5.5)$$

în care: s - grosimea totală a plăcii bimetalului ($0,13 \text{ mm} < s < 3,3 \text{ mm}$, în practică);

n - raportul modulelor de elasticitate, E_B/E_A;

m - raportul grosimilor plăcilor, s_B/s_A;

$t_2 - t_1$ - variaţia de temperatură;

α_A şi α_B - coeficienţii de dilatare termică ai plăcilor bimetalului.

In cele mai multe cazuri, $s_B/s_A \approx 1$ şi $n+1/n \approx 2$ ceea ce conduce la relaţia aproximativă :

$$\rho \approx \frac{2.s}{3(\alpha_A - \alpha_B)(t_2 - t_1)} \qquad (5.6)$$

Deplasarea d a capătului liber al unui bimetal sub formă de lamă îngustă și dreaptă, fixată în consolă, (figura 5.2 b) în cazul variației temperaturii cu Δt grade, se poate calcula cu relația :

$$d = K' \cdot \Delta t \frac{l^2}{s} \qquad (5.7)$$

în care: K' - constanta care depinde de diferența dintre coeficienții de dilatare liniară și de raportul modulelor de elasticitate corespunzătoare celor două metale;

s - grosimea bimetalului ;

l - lungimea lamei bimetalului.

Deplasarea unghiulară D a capătului liber al unui bimetal confecționat sub formă de spirală sau helicoidă, cu unul din capete fixat, se calculează cu relația :

$$D = K' \cdot \Delta t \frac{l}{s} \qquad (5.8)$$

în care notațiile au aceeași semnificație ca și la relația(5.7).

In ceea ce privește construcția lor, se menționează că au fost obținute rezultate bune utilizînd invar cu 36-5o% nichel pentru elementul cu coeficient redus de dilatare termică și un aliaj cu 2o - 24% nichel și 2-4% crom pentru elementul cu coeficient ridicat de dilatare termică.

Dispozitivele bimetalice servesc atît pentru măsurarea temperaturii cît și pentru controlul, reglarea și înregistrarea temperaturii. Se utilizează și pentru compensarea temperaturii la diferite instrumente.

Domeniul de utilizare este cuprins între -5o°C și +55o°C.

Sînt termometre robuste și numai rar se pune problema verificării (sau reetalonării).

Se construiesc termometre cu bimetal atît pentru scopuri tehnice cît și pentru laborator. Sînt și construcții cu contacte electrice reglabile manual pentru valori minime și maxime.

Eroarea tolerată de instrucțiunile în vigoare pentru acest tip de termometru este de ± 1% din intervalul de măsurare. Există construcții de astfel de termometre cu precizie ridicată la care erorile de indicare coboară pînă la o,5% din intervalul de măsurare.

5.4.2. Termometre bazate pe dilatarea lichidelor

Principiul de măsurare se bazează pe dilatarea lichidului termometric sub acțiunea căldurii.

Dacă V_1 și V_2 sînt volumele lichidului termometric la temperaturile t_1 și t_2 și $\alpha'_{1,2}$ este coeficientul mediu de dilatare volumică în intervalul de temperatură considerat, fenomenul de dilatare volumică se poate exprima prin legea :

$$V_2 = V_1 [1 + \alpha'_{1,2} (t_2 - t_1)] \qquad (5.9)$$

Avînd în vedere că și materialul rezervorului se dilată, comportarea termometrului la variații de temperatură poate fi caracterizată în ansamblu prin coeficientul aparent de dilatare volumică a lichidului în rezervor definit de relația :

$$\alpha_{1,2} = \alpha'_{1,2} - \alpha''_{1,2} \qquad (5.1o)$$

în care: $\alpha'_{1,2}$ are semnificația cunoscută, iar

$\alpha''_{1,2}$ este coeficientul mediu de dilatare volumică a materialului rezervorului în același interval de

temperatură.

5.4.2.1. Termometre manometrice cu lichid

Aceste termometre sînt construite din metal şi sînt umplute în întregime cu lichid. Elementele principale ale unui astfel de termometru, redat schematic în figura 5.3, sînt :

1 - elementul termosensibil, 2 - tubul capilar, 3 - tubul Bourdon, 4 - dispozitivul indicator şi 5 - cutia instrumentului.

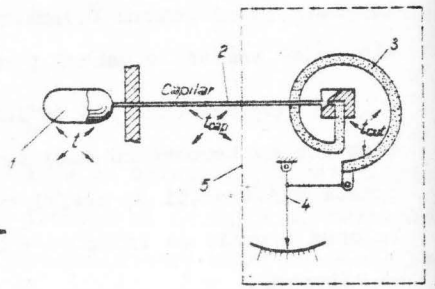


Fig.5.3. Termometru manometric cu lichid

Intervalul maxim de măsurare în care se pot utiliza aceste termometre este $-80^{o}C \div +600^{o}C$.

Lichidele de umplere folosite sînt : mercurul ($-35^{o}C \div +600^{o}C$), xilenul ($-40^{o}C \div +320^{o}C$), hexanul ($-80^{o}C \div +320^{o}C$) etc.

Compensarea variaţiei temperaturii exterioare se realizează cu un tub manometric şi un capilar de compensare, cum se arată în figură 5.4, sau cu un dispozitiv bimetalic, în cazul lungimilor mici ale tubului capilar.

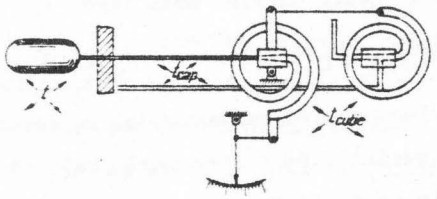


Fig. 5.4. Compensarea variaţiei temperaturii exterioare cu un tub manometric şi un capilar.

Scara acestor termometre este liniară.

Eroarea de măsurare la termometrele manometrice umplute cu mercur atinge ± 1%, iar la termometrele manometrice umplute cu alte lichide poate creşte pînă la ± 2%.

5.4.2.2. Termometre de sticlă cu lichid

Acestea reprezintă categoria cea mai răspîndită de termometre cu lichid şi se întîlnesc frecvent în măsurările de temperatură.

5.4.2.2.1. Construcţia termometrelor de sticlă cu lichid

În principiu, un termometru de sticlă cu lichid este format, aşa cum se vede şi în figura 5.5, dintr-un rezervor ce se continuă la partea superioară printr-un tub capilar (bine calibrat) închis la capătul superior. În spaţiul tubului capilar de deasupra nivelului de lichid se realizează un anumit grad de vacuum pentru temperaturi de pînă la aproximativ +150°C, iar pentru temperaturi mai înalte tubul capilar se umple cu un gaz de protecţie (argon, azot, bioxid de carbon şi uneori hidrogen). Presiunea iniţială a gazului de cca 0,5 kgf/cm^2 ($4,9.10^4 N/m^2$), serveşte pentru întreruperea coloanei de lichid şi pentru ridicarea temperaturii de fierbere a lichidului. Deoarece în timpul măsurării unor temperaturi ridicate se dezvoltă presiuni ridicate în interior (de ex., la un termometru de tip baghetă din cuarţ, la măsurarea temperaturii de 750°C, presiunea din interior poate atinge cca 100 kgf/cm^2 ($9,81 . 10^6 N/m^2$), se impune uneori folosirea ochelarilor de protecţie, pentru caz de explozie.

Fig.5.5. Schema de principiu a termometrului de sticlă cu lichid.

Din punct de vedere constructiv aceste termometre se împart în :

- termometre tip baghetă care au capilarul masiv, format dintr-un tub cu pereţii groşi cu un diametru exterior de 6÷8 mm, avînd rezervorul suflat tot din tubul capilar (fig.5.6); scara gradată este trasată direct pe capilar ;

- termometre tubulare cu scară interioară, drepte sau cu cot, sînt formate dintr-un corp tubular din sticlă, care, la partea inferioară cu diametru mai mic, are sudat rezervorul ce este prelungit la partea superioară cu tubul capilar (fig.5.7); scara gradată imprimată pe o placă opacă de sticlă este aşezată rigid în interiorul corpului tubular;

- termometre cu capilar, montate pe plăci cu scară gra-

Fig.5.6. Termometru tip baghetă.

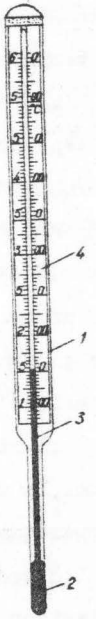


Fig.5.7. Termometru tubular drept cu scară interioară.

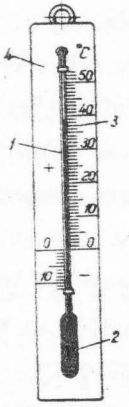


Fig.5.8.Termometru cu capilar montat pe placă cu scară gradată.

dată, formate dintr-un tub capilar care are sudat la partea inferioară rezervorul cu lichid termometric şi dintr-o placă rigidă ce are trasată pe ea scara gradată; tubul capilar este fixat rigid pe placa gradată (fig.5.8).

Lichidele de umplere utilizate în mod obişnuit pentru aceste termometre sînt : mercurul, amalgamul de taliu (Hg 91,5% Tl 8,5%), toluenul, alcoolul etilic, pentanul şi aliajul de galiu.

Deoarece coeficientul de dilatare a substanţelor organice variază mult cu temperatura, scara acestor termometre nu este uniformă. De asemenea, aceste termometre prezintă şi dezavantajul udării sticlei.

Se utilizează termometre din sticlă atît pentru măsurări curente cît şi pentru etalonări.

Sînt realizate termometre din sticlă cu lichid cu scara gradată într-un interval de maximum 10 grd. şi cu o precizie de 0,01 grd.

Pentru a urmări în timp deplasarea punctului zero, toate termometrele de mare precizie au marcat reperul punctului fix 0°C. In acest scop, unele termometre cu punctul zero îndepărtat de domeniul de măsurare prezintă o lărgire corespunzătoare pe o porţiune a capilarului.

Pe termometru trebuie să se specifice dacă este cu imersie totală sau parţială.

Domeniul de temperaturi acoperit de aceste termometre este cuprins între -200°C şi 1400°C. Pentru construcţiile de termometre care măsoară temperaturi mai ridicate ca +600°C se utilizează sticlă de cuarţ topit, iar ca lichid termometric mercurul sub presiune pentru temperaturi pînă la 800°C şi alia-

jul de galiu pentru temperaturi pînă la 140oc°C.

5.4.2.2.2. Construcţii speciale de termometre de sticlă

5.4.2.2.2.1. Termometre pentru măsurarea diferenţelor mici de temperatură

Acestea sînt cunoscute sub numele de termometre tip Beckmann. Cu ajutorul acestor termometre se pot măsura, în general, diferenţe de temperatură de 5-6 grd, scara lor fiind gradată în diviziuni de o,ol°C.

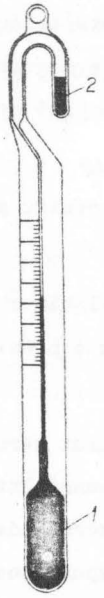


Fig.5.9.Termometru tip Beckmann.

Acest termometru (fig.5.9) este constituit dintr-un rezervor principal, 1 , de capacitate mare, un rezervor auxiliar, 2 , situat la partea superioară şi un tub capilar. Prin trecerea unei cantităţi de mercur din rezervorul principal în cel auxiliar se poate asigura posibilitatea menţinerii coloanei de mercur în cadrul gamei de temperaturi a scării capilarului.Unele termometre au pentru comoditate şi o scară gradată la rezervorul auxiliar pentru a se indica nivelul mercurului corespunzător temperaturii limită inferioară.

5.4.2.2.2.2. Termometre de sticlă cu contacte electrice

Aceste termometre sînt de două tipuri şi anume: cu contact fix şi cu contact mobil. Un contact este făcut în interiorul rezervorului şi al doilea contact este fie fix,fie mobil în interiorul tubului capilar. Termometrele cu contact electric mobil poartă şi denumirea de termometre Wertex (fig.5.1o). Reglarea deplasării contactului mobil

se face pe cale magnetică. Lichidul termometric prin intermediul căruia se realizează contactul electric este mercurul. S-au realizat astfel de termometre de precizie mărită care folosesc drept lichid termometric toluolul ce are coeficientul de dilatare volumică de 5 ori mai mare ca mercurul şi un fir de mercur pentru efectuarea contactului [2] .

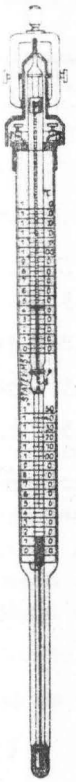


Fig.5.1o. Termometru cu mercur şi contacte.

Termometrele de acest tip se utilizează pentru semnalizare, sau în scheme de reglare.

5.4.2.2.3. Erori de măsurare la termometrele de sticlă

In tabela 5.2. se dau erorile tolerate la indicaţiile termometrelor de laborator [1] :

Cînd se utilizează termometrele de sticlă pentru efectuarea unor măsurători de precizie,eroarea tolerată nu este satisfăcătoare. In aceste cazuri se impune compararea termometrului de lucru cu cel etalon şi efectuarea corecţiilor pentru unele repere.

La efectuarea măsurărilor cu ajutorul termometrelor de sticlă cu lichid trebuie să se ţină seama şi de corecţiile şi erorile următoare :

Corecţia de coloană. Indicaţii exacte se obţin cînd coloana de lichid se află la temperatura corespunzătoare etalonării. Deoarece în practică nu se poate respecta întotdeauna adîncimea de cufundare, la termometrele cu imersie totală se impune efectuarea corecţiei de coloană. Această corecţie se efectuează cu relaţia :

- Tabela 5.2 -

Valoarea diviziunii grd.	Erorile tolerate în grd pentru diferite intervale de temperatură °C							
	-190.. -60	-60.. 0	0... 50	50.. 100	100.. 200	200.. 300	300.. 400	peste 400
0,01	-	-	±0,02	±0,02	-	-	-	-
0,02	-	-	±0,04	±0,04	-	-	-	-
0,05	-	±0,15	±0,1	±0,15	-	-	-	-
0,1	-	±0,3	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	-	-
0,2	-	±0,4	±0,2	±0,3	±0,4	±0,8	±1,2	-
0,5	±2	±0,75	±0,5	±1	±1,5	±1,5	±2,5	-
1	±3	±1	±1	±1	±2	±2,5	±3	±4
2	±4	±2	±2	±2	±2	±3	±4	±5

$$\Delta = \frac{\alpha \cdot N(t_1 - t_2)}{1 + \alpha(t_1 - t_2)} \qquad (5.11)$$

sau mai simplu cu relaţia aproximativă :

$$\Delta = \alpha \cdot N(t_1 - t_2) \qquad (5.12)$$

în care :

α - este coeficientul aparent de dilatare volumică a lichidului aflat în sticlă; pentru mercur în sticlă se poate lua $\alpha = \frac{1}{6100}$, iar pentru pentan tehnic, alcool sau toluen în sticlă se poate lua $\frac{1}{1000}$;

t_1 - temperatura măsurată ;

t_2 - temperatura medie a coloanei neimersate ;

N - numărul de grade corespunzător coloanei de lichid neimersate (fig.5.11).

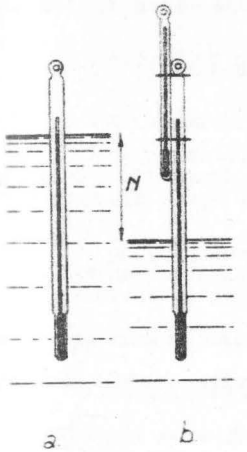


Fig.5.11. Poziţia termometrului cu imersie totală la etalonare (a) şi la unele măsurări ce impun corecţia coloanei (b).

Pentru termometrele cu imersie parţială se va calcula corecţia de coloană în cazul în care la măsurare temperatura coloanei neimersate diferă de temperatura coloanei din timpul etalonării. Corecţia se va face în acest caz cu relaţia :

$$\Delta = \alpha \cdot N(t_3 - t_2) \qquad (5.13)$$

în care α ,N şi t_2 au aceeaşi semnificaţie ca şi mai sus iar t_3 este temperatura medie a coloanei de lichid termometric în momentul etalonării, inscripţionată pe spatele scării gradate.

Corecţia pentru presiunea exterioară se va lua în consideraţie numai în cazul presiunilor mari, cum ar fi de exemplu în cazul măsurării temperaturii la adîncimi mari în lichide, şi se calculează cu relaţia :

$$\Delta = \beta_e (p - 760) \qquad (5.14)$$

în care:

p - este presiunea exterioară în mm Hg ;

β_e - coeficientul presiunii exterioare ce depinde de forma, dimensiunile şi calitatea sticlei termometrului.

Corecţia datorită influenţei presiunii interioare se calculează numai în cazul în care termometrul se utilizează într-o altă poziţie decît cea verticală, fiind dată de relaţia :

$$\Delta = \beta_i \, l_t \, \frac{d_t}{d_o} (1 - \sin \varphi) \qquad (5.15)$$

în care :

β_i - coeficientul presiunii interioare ;

l_t - lungimea coloanei de mercur la temperatura t ;

d_t, d_c - densităţile lichidului termometric la temperaturile t şi 0^oC;

φ - unghiul dintre axa termometrului şi orizontală.

Eroarea de paralaxă, întîlnită uneori la efectuarea citirii indicaţiilor, se poate micşora sau evita astfel: la utilizarea lunetei, axul acesteia să fie perpendicular pe axul termometrului; la utilizarea lupei sau lunetei meniscul lichidului trebuie să apară în centrul cîmpului de vizare, ca în fig. 5.12; la citirea cu ochiul liber trebuie vizat exact nivelul meniscului.

Fig.5.12.Vizarea unui termometru de sticlă cu lichid.

Eroarea datorită îmbătrînirii sticlei (histerezis) se corectează prin determinarea periodică a punctului de zero.

Eroarea datorită derivei de nul (fenomenului de depresiune) apare uneori, dacă cu un termometru se măsoară temperaturi scăzute după ce în prealabil s-au măsurat cu el temperaturi ridicate. Modificarea structurii sticlei, căreia i se datoreşte această eroare, dispare cu timpul (5...7 zile).

Eroarea de indicaţie se întîlneşte în cazul diametrelor foarte mici şi se datorează forţelor de frecare; aceasta se elimină prin ciocănire sau scuturare.

Eroarea datorită inerţiei termice se elimină, dacă timpul care se scurge de la cufundarea termometrului în mediul supus măsurării pînă la efectuarea lecturii este suficient pentru stabilirea unui echilibru termic între elementul sensibil al termometrului şi acest mediu.

5.4.3. Termometre bazate pe dilatarea gazelor sau pe variaţia presiunii gazelor

Considerentele practice care au condus iniţial la utilizarea gazelor drept corp termometric au fost următoarele :

- proporţionalitatea între presiuni şi temperaturi la volum constant şi proporţionalitatea între volume şi temperaturi la presiune constantă pentru gazul ideal ;

- coeficientul de dilatare aparent al gazelor în sticlă este mult mai mare faţă de acelaşi coeficient pentru lichide ; astfel, mercurul are un coeficient de dilatare de 9 ori mai mare decît sticla pe cînd azotul are coeficientul de dilatare de 14o ori mai mare ca sticla.

S-au construit termometre cu gaz real care au fost utilizate în calitate de termometru legal. Astfel, termometrul cu gaz real la volum constant cu corecţiile determinate a fost adoptat ca aparat pentru stabilirea scării legale la Conferinţa generală de măsuri şi greutăţi din anul 1919.

Datorită dificultăţilor legate de : scara de temperatură definită cu ajutorul termometrului legal, cu gaz, durata mare de timp a măsurărilor şi precizia mai redusă a acestui termometru în raport cu alte mijloace de măsurare, în anul 1927 s-a adoptat scara internaţională de temperatură, care ulterior a fost revăzută şi, care din anul 196o poartă denumirea de scară internaţională practică de temperatură (definită conform celor arătate în subcapitolul 5.1).

5.4.3.1. Termometre manometrice cu gaz

Principiul de funcţionare al termometrului manometric cu gaz se bazează pe variaţia presiunii gazului în funcţie de

temperatură.

Din punct de vedere constructiv acestea sînt asemănătoare termometrelor manometrice cu lichid (fig.5.3) cu menţiunea că, pentru a se reduce influenţa variaţiilor de temperatură asupra capilarului, rezervorul are un volum mare.

Gazele utilizate în mod frecvent sînt : azotul, argonul şi bioxidul de carbon.

Scara acestor termometre este liniară.

Ele sînt puţin răspîndite din cauza volumului mare al rezervorului, fiind întîlnite uneori la instalaţiile de cazane.

5.5. Termometre sau repere termometrice bazate pe schimbarea stării

5.5.1. Termometre manometrice cu vapori saturaţi

In raport cu termometrele manometrice cu lichid au un domeniu de măsurare mai restrîns, scara este neliniară însă prezintă avantajul unui timp de răspuns mai mic.

In figura 5.13 este arătată schema constructivă a unui termometru manometric cu vapori saturaţi, ce poate fi utilizat pentru măsurări de temperaturi mai mici, sau mai mari ca a mediului ambiant. La acest tip de termometru lichidul termometric ocupă împreună cu vaporii săi aproape tot rezervorul, în timp ce partea inferioară a acestuia, tubul capilar şi manometric sînt pline cu lichidul nevolatil. Ca exemplu de lichide se menţionează cuplul clorură de etil (volatil) şi un amestec de glicerină, apă şi alcool (nevolatil).

Sînt şi construcţii ce utilizează numai un singur lichid şi vaporii acestuia aşa cum se arată în figurile 5.14 şi 5.

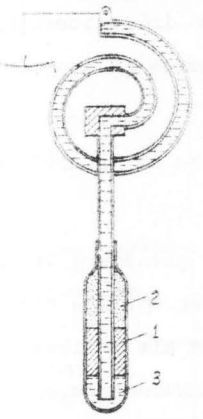


Fig.5.13. Termometru manometric cu vapori saturaţi cu transmitere prin lichid.
1 - lichid volatil;
2 - vapori;
3 - lichid nevolatil.

Fig.5.14. Rezervorul şi tubul capilar al termometrului manometric cu vapori, utilizat pentru temperaturi mai mari ca cea a mediului ambiant ;
1 - lichid ;
2 - vapori.

Fig.5.15. Rezervorul şi tubul capilar al termometrului manometric cu vapori, utilizat pentru temperaturi mai mici ca cea a mediului ambiant ;
1 - lichid ;
2 - vapori.

Se întîlnesc frecvent astfel de termometre pentru măsurarea temperaturii apei de răcire la motoarele cu ardere internă şi compresoare.

La construcţii îngrijite precizia de măsurare atinge ±0,5% din valoarea maximă a scării.

5.5.2. Măsurări bazate pe punctul de topire al materialelor

Aceste măsurări se efectuează cu ajutorul indicatoarelor piroscopice (conurile Zeger) realizate din diferite materiale ceramice sau cu ajutorul indicatoarelor fuzibile realizate obişnuit din aliaje metalice.

Indicatoarele piroscopice sînt sub formă de tetraedre, şi dau indicaţii asupra temperaturii de măsurat în funcţie de

temperatura de înmuiere la care acestea se îndoaie peste muchia scurtă astfel încît vîrful atinge nivelul plăcii suport.

In R.S.R., prin STAS 2912 - 64, gama indicatoarelor piroscopice este fixată la 59 compoziţii ceramice şi acoperă intervalul de temperaturi 6oo...2ooo°C .

Abaterile limită pentru temperaturile de înmuiere ale acestor indicatoare sînt ±1o°C.

Aceste indicatoare se utilizează cu precădere în industria materialelor refractare însă s-ar putea utiliza uneori şi la aprecierea temperaturii la unele elemente ale micilor instalaţii de cazane care nu sînt prevăzute cu instrumente speciale de măsurare.

Indicatoarele fuzibile acoperă domeniul 1oo...16oo°C şi se întîlnesc la unele tipuri de cazane ca element de siguranţă.

5.5.3. Culori cu caracteristici funcţie de temperatură (culori termoscopice)

Pentru determinarea rapidă a temperaturii suprafeţei corpurilor, se utilizează uneori proprietatea unor substanţe de a-şi schimba culoarea iniţială în urma variaţiei temperaturii; această proprietate este cunoscută şi sub numele de fenomen de termocromie.

La substanţele organice fenomenul se datorează slăbirii unei valenţe (începutul disociaţiei termice), iar la substanţele anorganice fenomenul se datorează modificării reţelei cristaline. Uneori modificarea culorii se datorează pierderii H_2O, CO_2 sau NH_3. La substanţele anorganice termocromia este în general reversibilă.

In tabela 5.3 sînt trecute principalele substanţe termoscopice utilizate în tehnică [1] .

Tabela 5.3. Principalele substanţe termoscopice utilizate în tehnică

Denumirea substanţei	Culoarea		Temperaturi la care se schimbă culoarea. °C	Reversibilitatea.
	Iniţială	Finală .		
Sulfură de mercur	roşu	cafeniu-negru	25o 3oo	da
Cromat de plumb	roşu	cafeniu-negru	25o 3oo	nu
Iodură de mercur şi cupru	roşu deschis	roşu închis maron negru	6o 7o 75	da (dacă nu a fost încălzit la temperaturi prea mari)
Iodură de mercur şi argint	roşu	maron	7o	nu
Oxid de mercur	roşu	negru	pe măsura creşterii temperaturii.	da
Bromură de cupru	galben	cafeniu	idem	da
Cianură cuproferoasă	maron	cafeniu-negru	idem	da
Bisulfură de arsen	portocaliu	roşu-cafeniu	idem	da

La utilizarea substanţelor termoscopice la care culoarea se modifică încet în funcţie de temperatură, temperatura se poate stabili prin compararea culorii cu o scală cromatică.

Culorile termoscopice se întrebuinţează în practică sub formă de creioane, crete sau soluţie. Pentru măsurarea temperaturii sau pentru determinarea cîmpului de temperatură de la suprafaţa corpurilor de studiat, se trag linii cu ajutorul creioanelor sau cretelor termoscopice sau se aplică soluţia cu o pensulă sau un pistol de vopsit pe suprafaţa respectivă şi se urmăreşte apoi schimbarea culorii. Soluţia termoscopică preparîndu-se pe bază de alcool, după aplicare alcoolul se evaporă şi rămîne stratul de vopsea cu o grosime de 0,03...0,07 mm. In cazul în care vopseaua vine în contact cu vapori de apă, amoniac sau bioxid de carbon, rezultatele măsurărilor vor fi falsificate.

Domeniul de măsurare este cuprins între 40...1350°C, iar eroarea de măsurare în cazul respectării timpului de acţiune indicat este de cca ±5 grd.

Culorile termoscopice se utilizează uneori pentru aprecierea temperaturii aripioarelor de răcire la motoarele cu ardere internă şi la compresoarele cu piston în cazul în care răcirea este în aer. Ele pot fi însă utilizate şi pentru aprecierea temperaturii superficiale de la alte elemente ca: radiatoare, lagăre, carcase etc.

5.6. Termometre cu rezistenţă electrică

Principiul de măsurare al acestor termometre se bazează pe variaţia în funcţie de temperatură a rezistenţei corpurilor metalice (conductoare) sau a unor corpuri semiconductoare numite termistoare.

In funcţie de natura traductorului de temperatură folosit, se pot deosebi două tipuri de termometre : termometre cu rezistenţă metalică şi termometre cu termistoare.

5.6.1. Termometre cu rezistenţă metalică

5.6.1.1. Principiul de măsurare, materiale utilizate pentru rezistenţele metalice şi construcţia acestora

Variaţia rezistenţei R_t în funcţie de temperatura t pentru cele mai multe materiale metalice se poate reprezenta printr-o ecuaţie de forma :

$$R_t = R_0 (1 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + ... + a_n t^n) \quad (5.16)$$

în care R_0 este valoarea rezistenţei la temperatura t=0°C, iar a_1, a_2, a_3, ... a_n sînt constante care depind de natura materialului. Numărul termenilor necesari depinde de natura materialului, exactitatea cerută şi de intervalul de temperatură care trebuie acoperit. De exemplu pentru platină în intervalul de temperatură 0.....630,5°C, relaţia dintre valoarea rezistenţei R_t şi temperatura t stabilită prin scara internaţională practică de temperatura (SIPT) este

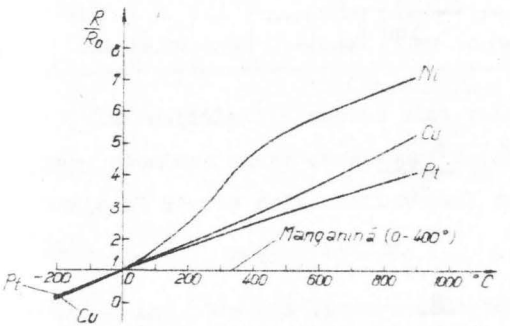


Fig.5.16 Variaţia rezistenţei cu temperatura pentru cîteva metale utilizate.

$$R_t = R_0 (1 + a_1 t + a_2 t^2). \quad (5.17)$$

în care R_0 are aceiaşi semnificaţie ca şi mai înainte, iar a_1 şi a_2 sînt constante care se pot determina măsurînd rezistenţa electrică a firului de platină la încă două temperaturi cunoscute în afară de punctul de topire a gheţii (în conformitate cu SIPT s-au ales punctul de fierbere a apei, 100°C, şi punctul de fierbere a sulfului, 444,6°C.

O caracteristică importantă a rezistenței metalice (în cazul de față termorezistență) este coeficientul de temperatură α, definit prin relația

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dt} \qquad (5.18)$$

în care R este valoarea rezistenței corespunzătoare unei anumite temperaturi t, iar dR este variația rezistenței corespunzătoare variației de temperatură dt la care este supusă rezistența.

Comparația diferitelor termorezistențe se face obișnuit cu ajutorul coeficientului

$$\alpha_o^{100} = \frac{R_{100} - R_o}{100\, R_o} \qquad (5.19)$$

sau uneori cu ajutorul coeficienților

$$\alpha_{o'}^{100} = \frac{R_{100}}{R_o} \qquad (5.20)$$

și

$$\alpha_o^{t} = \frac{R}{R_o} \qquad (5.21)$$

în care R, R_o și R_{100} sînt respectiv valorile rezistențelor la temperaturile t°C, 0°C și 100°C.

Pentru termorezistență se folosește frecvent platina, nichelul și cuprul și mai rar fierul, wolframul, argintul etc. Pentru temperaturi foarte joase situate în jurul lui 20°K se poate utiliza : plumbul, constantanul, bronzul fosforos cu 2% cositor și 0,05% plumb, aliajul de argint cu 5% plumb etc. Experimentatorul își poate alege uneori metalul în funcție de scopul urmărit, însă pentru o mai mare siguranță trebuie să-și

facă etalonarea cu un termometru etalon.

In tabela 5.4 sînt trecute valorile rezistenței relative (α_o^t) funcție de temperatură pentru unele metale [4] .

Tabela 5.4. Valorile rezistenței relative α_o^t în funcție de temperatură pentru cîteva metale.

Natura metalului	Rezistivitatea μΩ·cm.	Rezistența relativă $\alpha = \frac{R}{R_o}$ la °C										
		-200	-100	0	100	200	300	400	500	600	700	800
Alumel	28,1	-	-	1,000	1,239	1,428	1,537	1,637	1,726	1,814	1,899	1,982
Cupru	1,56	0,117	0,557	1,000	1,431	1,862	2,299	2,747	3,210	3,695	4,208	4,752
Fier	8,57	-	-	1,000	1,650	2,464	3,485	4,716	6,162	7,839	9,790	12,039
Manganin	48,2	-	-	1,000	1,002	0,996	0,991	0,983	-	-	-	-
Nichel	6,38	-	-	1,000	1,663	2,501	3,611	4,847	5,396	5,882	6,327	6,751
Platină	9,83	0,177	0,599	1,000	1,392	1,773	2,142	2,499	2,844	3,178	3,500	3,810
Pt 90%, Rh 10%	18,4	-	-	1,000	1,166	1,330	1,490	1,646	1,798	1,947	2,093	2,234
Argint	1,50	0,176	0,596	1,000	1,408	1,827	2,256	2,698	3,150	3,616	4,094	4,586

Indicațiile din tabelă sînt valabile pentru metalul cel mai pur, deoarece chiar amestecuri foarte mici de metale străine influențează foarte mult coeficientul de temperatură α și coeficienții α_o^{100}, $\alpha_{o'}^{100}$ și α_o^t.

In mod obișnuit termorezistențele se confecționează din sîrme bobinate pe suporturi speciale din sticlă, material ceramic sinterizat, plăcuțe de mică, porțelan, material plastic etc. în funcție de temperatura maximă de măsurare ; uneori termorezistența se poate confecționa și din bandă metalică sau în cazul platinei se poate executa sub formă de peliculă în grosime de cîțiva microni, obținută fie prin depunere catodică în vid, fie printr-un procedeu chimic special.

In figura 5.17 este arătată o termorezistență din platină bobinată pe un tub de sticlă introdusă într-un alt tub de sticlă de diametru mai mare. In figura 5.18 se arată construcția unei

termorezistenţe din sîrmă de platină bobinată pe o plăcuţă de mică,iar în figura 5.19 se arată în secţiune construcţia unei termorezistenţe la care contactul termic între rezistenţa 2 şi teaca de protecţie 3 este îmbunătăţit cu ajutorul unor aripicare elastice 1.

Fig.5.17. Termorezistenţă din platină pe suport de sticlă

Fig.5.18. Termorezistenţă din platină pe suport de mică

Termorezistenţa de platină trebuie protejată la temperaturi ridicate şi mai ales atunci cînd se măsoară temperatura gazelor.
Platina în contact cu amestecurile combustibile devine catalizator conducînd la deformarea rezultatelor.

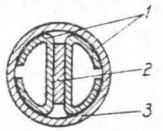


Fig.5.19. Secţiune transversală într-o termorezistenţă.

Domeniul de măsurare al termorezistenţelor de platină este obişnuit $-220^{\circ} \div 850^{\circ}C$ el putîndu-se extinde pentru construcţiile speciale la intervalul $-250^{\circ} \div 1000^{\circ}C$ sau chiar peste această limită.

Cuprul prezentînd o stabilitate relativ redusă la reacţiile chimice (oxidare) în cazul temperaturilor mai ridicate, se utilizează numai în intervalul de temperaturi $-50^{\circ} \div 180^{\circ}C$. Izolarea sîrmei de cupru se realizează cu ajutorul lacului de bachelită.

Nichelul deşi prezintă un coeficient de temperatură ridicat se utilizează numai pînă la temperaturi de maximum $180^{\circ}C$ din cauza apariţiei fenomenului de oxidare la tenperaturi mai

mari.

Wolframul prezintă o dependenţă aproape liniară între temperatură şi rezistivitatea electrică şi de asemenea o rezistenţă mecanică ridicată. Datorită rezistenţei mecanice mari firul poate fi foarte subţire (1o...15 μ). La construcţiile neprotejate permite măsurarea variaţiilor rapide de temperatură precum şi măsurarea temperaturii curenţilor de gaze ce au viteze mai mari ca viteza sunetului. Ca şi platina, prezintă fenomene de volatilizare la temperaturi ridicate. Din acest motiv limita maximă de utilizare a wolframului este de circa $600^{\circ}C$.

Valorile obişnuite ale rezistenţelor termorezistenţelor fabricate de firme specializate sînt pentru $0^{\circ}C$: 100 Ω ,50 Ω, 46 Ω, 25 Ω şi 10 Ω . Valorile mai mari ale rezistenţelor elimină într-o măsură mai mare influenţa firelor de legătură.

In funcţie de locul de măsurare, mediul în care se face măsurarea şi în special în cazul miniaturizării rezistenţelor, acestea se pot confecţiona de către experimentator şi pentru alte valori ale rezistenţelor faţă de cele menţionate. La realizarea termorezistenţelor trebuie să se ţină seama de unele recomandări ca : îmbătrînirea sîrmei de platină prin încălzirea pe cale electrică a acesteia pînă la $900^{\circ}C$ timp de 30 minute în vederea eliminării tensiunilor mecanice reziduale, înfăşurarea largă a sîrmei pe suport pentru reducerea la maximum a tensiunilor mecanice ce iau naştere la creşterea temperaturii în timpul măsurărilor etc.

5.6.1.2. Aparate şi metode pentru măsurarea rezistenţelor

Măsurarea rezistenţei electrice la un termometru cu rezistenţă şi prin urmare determinarea temperaturii se poate

face cu ajutorul a diferite metode puse la dispoziţie de electrotehnică în funcţie de precizia de măsurare ce se urmăreşte. Astfel, în cazul măsurărilor la care precizia cerută nu trebuie să coboare sub $1^{o}C \div 0{,}5^{o}C$ se utilizează logometrele cu indicare directă. Pentru măsurări mai precise se utilizează punţile manuale sau automate, iar pentru măsurările cu grad ridicat de precizie se utilizează şi compensatoare montate în cadrul unei scheme speciale.

Logometre. Pentru măsurarea temperaturii se utilizează logometrul magnetoelectric căruia i se spune logometru (în literatură se întîlneşte uneori şi sub numele de aparat cu bobine încrucişate).

Logometrul (fig.5.2o) este un galvanometru la care cuplul reactiv este de natură magnetică. Cele două bobine care constituie echipajul mobil al logometrului sînt legate în serie astfel încît momentele lor de rotaţie să fie orientate în sens invers. Echipajul mobil este aşezat în centrul polilor unui magnet permanent.

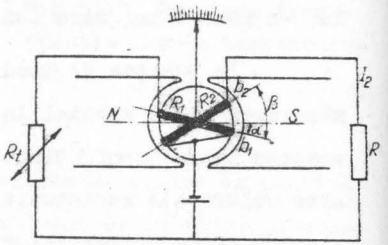


Fig.5.2o Schema de principiu a logometrului magnetoelectric.

Datorită faptului că piesele polare ale magnetului nu sînt concentrice cu miezul magnetului, se realizează un cîmp magnetic neuniform. In felul acesta valoarea rezistenţei dependentă de temperatură, R_t, se poate determina în funcţie de raportul intensităţilor cîmpului magnetic, care acţionează asupra celor două bobine.

Dacă se neglijează acţiunea mecanică a firelor de ieşire ale bobinelor, unghiul de rotaţie α al echipajului mobil, care indică mărimea măsurată este funcţie de raportul intensităţilor curenţilor din cele două bobine. Deci, se poate scrie :

$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = f'(R_t) \qquad (5.22)$$

Deşi din această relaţie se observă că valoarea tensiunii de alimentare, U , nu influenţează rezultatul măsurării totuşi în cadrul măsurărilor variaţia tensiunii nu trebuie să depăşească $\pm 2o$ % din valoarea nominală a acesteia.

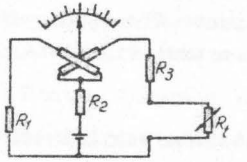


Fig. 5.21. Schema de montare a logometrului cu două fire de legătură.

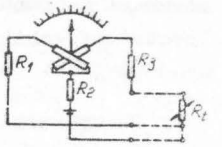


Fig. 5.22. Schema de montare a logometrului cu trei fire de legătură.

In cazul în care firele de legătură sînt scurte şi mediul prin care acestea trec are o temperatură aproape constantă se poate folosi schema cu două fire (fig.5.21). Dacă firele de legătură sînt lungi şi dacă acestea sînt supuse la variaţii mari de temperatură, se va alege schema cu trei fire (fig.5.22).

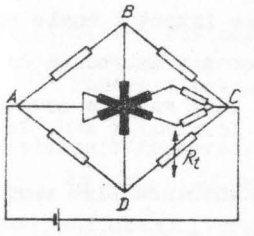


Fig.5.23. Schema de montare în punte a logometrului utilizat pentru măsurarea intervalelor mici de temperatură.

Pentru măsurarea intervalelor de temperatură mai mici ca lo...15 grd., se utilizează uneori logometre speciale care au echipajul mobil format din 3 bobine, schema de montare fiind în punte (fig.5.23). La un astfel de montaj sensibilitatea aparatului este mărită.

Logometrele utilizate sînt de tip: indicator, înregistrator şi regulator.

Punți de măsurare. In mod obișnuit se utilizează montajul în punte Wheatstone echilibrată cu acțiune manuală.

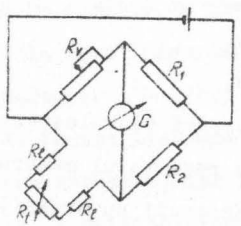


Fig. 5.24. Schema de măsurare în punte Wheatstone echilibrată cu două fire.

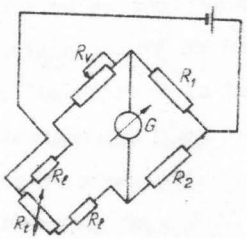


Fig.5,25. Schema de măsurare în punte Wheatstone echilibrată cu trei fire.

Pentru schema în punte Wheatstone echilibrată cu două fire, arătată în figura 5.24, valoarea rezistenței dependentă de temperatură este dată de relația :

$$R_t = \frac{R_v \cdot R_2}{R_1} - 2R_1 \qquad (5.23)$$

Dacă se presupune că rezistența $2R_1$ a firelor de legătură este constantă, se poate inscripționa direct scara de temperatură în dreptul cursorului cu care se modifică valoarea rezistenței variabile R_v .

La această schemă de măsurare se introduc unele erori cauzate de : rezistența variabilă de contact introdusă de cursor, rezistența firelor de legătură care este de asemenea o variabilă dependentă de temperatură, curentul electric care străbate termorezistența și cauzează o autoîncălzire variabilă.

Schema de măsurare redată în fig. 5.25 avînd firele de legătură plasate separat în cîte unul din brațele punții permite compensarea eventualelor variații ale rezistențelor

lor cauzate de variații ale temperaturii.

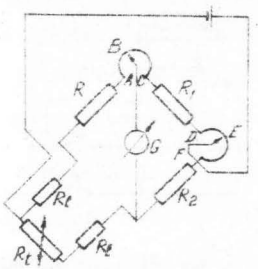


Fig. 5.26. Schema de măsurare în punte Wheatstone fără rezistență de contact în circuitul de măsurare.

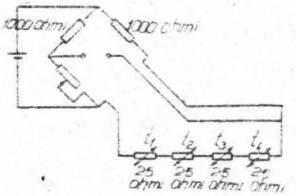


Fig. 5.27. Schema de măsurare în punte Wheatstone a temperaturii medii.

Pentru măsurări mai precise, se elimină și influența rezistenței de contact a cursorului aplicînd schema de măsurare reprezentată în fig. 5.26. La această schemă rezistențele de contact ale celor două potențiometre nu mai sînt în serie cu rezistențele punții.

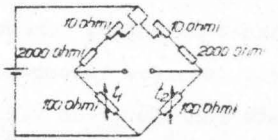


Fig. 5.28. Schema de măsurare în punte Wheatstone a diferenței de temperatură.

In figurile 5.27 și 5.28 se arată exemple de scheme utilizate pentru măsurarea temperaturii medii și respectiv a diferenței de temperatură. Cu ajutorul schemei de măsurare, arătată în fig. 5.28, s-a obținut o precizie de $0{,}05^{\circ}C$ [3] .

Puntea electronică automată este construită și funcționează după principiul punții echilibrate [1] .

In fig. 5.29 se arată schema de principiu a punții Wheatstone neechilibrate, întîlnită mai rar în măsurările de temperatură. La această schemă puntea este echilibrată numai pentru o anumită valoare a rezistenței R_t . Măsurînd curentul

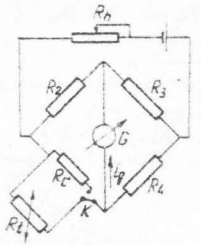


Fig. 5.29. Schema de principiu a punţii Wheatstone neechilibrată.

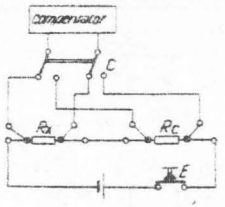


Fig. 5.3o. Schema de măsurare cu ajutorul compensatorului.
C - comutator; R_x - rezistenţa necunoscută; R_c - rezistenţa de comparaţie; E - sursa de tensiune; B - buton.

de dezechilibru, i_g , se determină temperatura termorezistenţei. Deoarece valoarea lui i_g este funcţie şi de t.e.m. a bateriei care alimentează puntea, se impune menţinerea acesteia la o valoare foarte constantă.

Schema compensatorului. Pentru măsurarea cu mare exactitate a termorezistenţei se utilizează uneori schema compensatorului (fig.5.3o). Pentru această schemă termorezistenţa şi rezistenţa de comparaţie sînt străbătute de acelaşi curent. Comparînd cu ajutorul comutatorului, C , tensiunile la bornele lui R_x şi R se poate scrie relaţia

$$\frac{U_c}{R_c} = \frac{U_x}{R_x} \qquad (5.24)$$

Cunoscînd valoarea R_c şi măsurînd cu compensatorul pe U_c şi U_x se determină valoarea R_x.

Preciziile de măsurare cu ajutorul compensatorului pot atinge valori de ordinul miimilor de grd.

5.6.1.3. Erori la măsurarea termorezistentelor

Erorile care intervin la măsurarea valorii termorezistenţelor şi deci a temperaturii sînt în funcţie de mai mulţi

factori de care s-a amintit, în general, în capitolul 2. Dintre acesti factori amintim : felul metodei, clasa de precizie a instrumentului de măsurare utilizat, calitatea termorezistenţei şi protecţia acesteia.

Metoda de măsurare şi clasa de precizie a instrumentului de măsurare ce se utilizează se aleg în funcţie de locul de măsurare, exactitatea cerută la măsurare etc.

In vederea realizării interschimbabilităţii termorezistenţei dintr-un ansamblu de măsurare, fără introducerea unor erori sistematice suplimentare, se impun toleranţe atît pentru valoarea lui α_{0}^{100} , cît şi pentru valoarea de ajustare a valorii termorezistenţei la zero grade (tabela 5.5) [1] .

Tabela 5.5. Erorile tolerate pentru $\frac{R_{100}}{R_0}$ şi R_0 la diferite materiale

Materialul din care este confecţionat termorezistenţa.	$\frac{R_{100}}{R_0}$	Clasa I		Clasa II	Clasa III
		Eroarea tolerată a raportului $\frac{R_{100}}{R_0}$	Eroarea tolerată de ajustare a termorezist. la $0^{o}C$ în % din valoare la $0^{o}C$.	Eroarea tolerată a raportului $\frac{R_{100}}{R_0}$	Eroarea

De asemenea, în literatura de specialitate sînt date şi formule de calcul ale erorii tolerate pentru întreg intervalul de utilizare a diferitelor termorezistenţe.

Se menţionează că trebuiesc respectate prescripţiile constructorilor de aparate şi standardelor referitoare la valorea intensităţii curentului care străbate termorezistenţa, pentru a evita sau a reduce la minimum erorile datorită încălzirii suplimentare a termorezistenţei.

Pentru unele ansambluri de măsurare cum ar fi de exemplu logometru + termorezistenţă, eroarea totală a ansamblului se va obţine prin adunarea algebrică a erorilor determinate pentru fiecare element component.

5.6.2. Termometre cu termistoare

Termistorul este un material semiconductor a cărui rezistenţă variază mult cu temperatura după o lege exponenţială de forma :

$$R = R_o \cdot e^{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o}\right)} \qquad (5.25)$$

în care R este rezistenţa semiconductorului la temperatura absolută, T ;

R_o - rezistenţa semiconductorului la temperatura absolută, T_o ;

β - constantă caracteristică materialului semiconductorului.

Temperatura de referinţă T_o se ia în general 298°K. Pentru termistoarele utilizate pînă la temperaturi de 300°C, valoarea constantei β variază între 2500 şi 5000.

In fig. 5.31 se arată aspectul posibil al curbelor

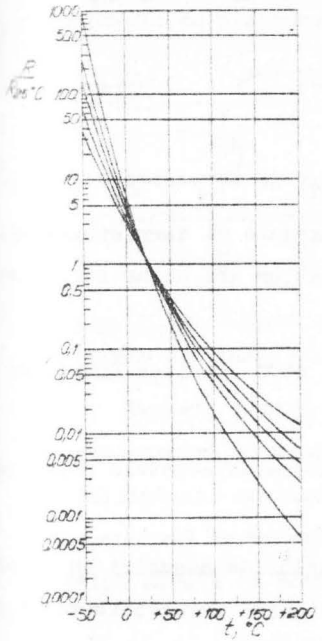


Fig.5.31. Diferite curbe posibile de variaţie a raportului R/R_{25^oC} în funcţie de temperatură.

care redau variaţia raportului $\frac{R}{R_{25^o}}$ în funcţie de temperatură, pentru diferiţi semiconductori.

In timp ce unele metale, aşa cum s-a văzut, prezintă variaţii liniare ale rezistenţei funcţie de temperatură pentru anumite intervale de temperatură, termistoarele prezintă această variaţie foarte neliniară.

De asemenea, comparativ cu termorezistenţele studiate anterior care au un coeficient de temperatură pozitiv mic, termistoarele prezintă un coeficient de temperatură negativ foarte mare.

Coeficientul de temperatură este dat de relaţia

$$\frac{dR}{R \cdot dT} = -\frac{\beta}{T^2} \qquad (5.26)$$

Dacă pentru un termistor se consideră β = 4000, atunci valoarea coeficientului de temperatură pentru temperatura de 25°C este 0,045 faţă de +0,0036 pentru termorezistenţa de platină la aceeaşi temperatură.

Execuţiile moderne de termistoare folosesc din cauza constanţei lor mari, exclusiv semiconductoare cu conducere pur electronică şi anume, cu amestecuri de oxizi metalici (Ni, Co, Cu, Fe, Zn, Al, Mg), cristale mixte de oxizi etc. Aceşti oxizi sînt măcinaţi, presaţi şi apoi sinterizaţi la o temperatură înaltă în diferite forme (fig.5.32).

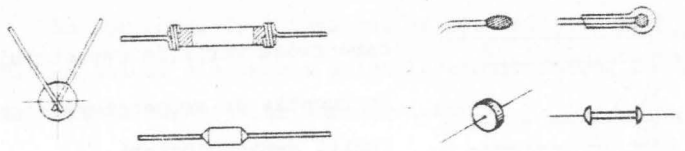


Fig. 5.32. Diferite forme de termistoare

In prezent s-a reuşit să se execute şi **termistoare mi**nusculi cu dimensiuni de ordinul zecimilor sau chiar sutimilor de milimetru.

Rezistenţa termistoarelor la 25°C variază între 5oo şi cîţiva **megohmi.**

Termistoarele, în raport cu termorezistenţele metalice oferă următoarele avantaje :

- permit folosirea instrumentelor de măsurare cu sensibilitate mai mică datorită valorii mai mari a coeficientului de temperatură ;

- rezistenţa firelor de legătură este neglijabilă faţă de rezistenţa mare cu care se pot executa termistoarele ;

- datorită dimensiunilor mici nu se produce practic perturbarea cîmpului de temperaturi şi se poate obţine o indicare foarte rapidă.

Ele au şi unele dezavantaje ca :

- interschimbabilitatea termistoarelor, la diferite aparate de măsurat temperatura avînd scara divizată direct în grade, nu este posibilă decît folosind un sistem de rezistenţe calculate pentru termistorul respectiv.

La măsurarea temperaturii cu ajutorul termistoarelor se indică în afara unor scheme ce se aseamănă în principiu cu

cele utilizate în cazul utilizării termorezistenţelor metalice şi schemele de măsurare arătate în figurile 5.33 şi 5.34.

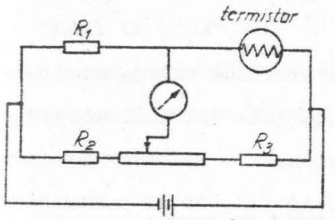


Fig. 5.33. Schemă de măsurare în punte Wheatstone.

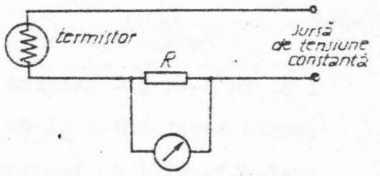
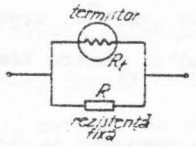


Fig.5.34. Schemă de măsurare cu un circuit serie.

Uneori, pentru îmbunătăţirea liniarităţii între valoarea rezistenţei şi temperaturii se recomandă, în detrimentul sensibilităţii, şuntarea termistorului cu o rezistenţă fixă (independentă de temperatură), aşa cum se arată în fig. 5.35. In felul acesta se obţine rezistenţa echivalentă :

$$Z = \frac{R.r}{R + r} \qquad (5.27)$$



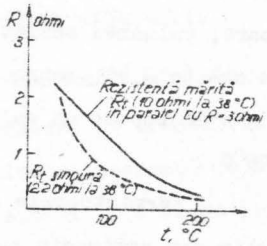


Fig. 5.35. Liniarizarea **termistoarelor**

Tensiunile maxime de lucru variază pentru diferitele tipuri de termistoare între 1,2 şi 3 V [2] . In cazul utilizării schemelor cu logometre, trebuie să se prevadă o tensiune de alimentare de minimum 5o V [5] .

Intervalul de măsurare acoperit de termistoarele **obişnuite**

este cuprins între -100°C și 450°C și poate fi extins în cazul utilizării termistoarelor speciale, refractare, pînă la 1200°C.

Pentru măsurarea temperaturilor criogenice cuprinse între 1 și 20°K se pot utiliza rezistențele din carbon care prezintă pentru acest interval de temperaturi o valoare mare negativă a coeficientului de temperatură. Astfel, de la aproximativ 20°K în jos creșterea valorii rezistenței, R , a rezistoarelor din carbon cu scăderea temperaturii este dată de relația :

$$\log R + \frac{K}{\log R} = A + \frac{B}{T} \qquad (5.28)$$

în care T este temperatura absolută, iar A, B și K sînt constante determinate la etalonarea fiecărui rezistor.

Termistoarele executate din siliciu,cu cantități variabile de impurități de bor pot fi realizați cu valori negative și pozitive ale coeficientului de temperatură pentru anumite intervale de temperatură. Astfel, pentru unul din aceste termistoare, valoarea rezistenței pentru temperatura de -150°C scade cu cca 80 % și pentru temperatura de +200°C crește cu cca 180 % în raport cu valoarea rezistenței pentru temperatura de +25°C .

Termistoarele executate din germaniu acoperit cu arseniu galiu sau antimoniu se utilizează de asemenea pentru măsurarea temperaturilor criogenice unde aceștia înregistrează o scădere mare în rezistență, odată cu creșterea temperaturii. Astfel, pentru unul din aceste termistoare valoarea rezistenței scade de la 7000 Ω la 2°K, pînă la 6 Ω la 60°K. Relația dintre valoarea rezistenței și temperatură este foarte neliniară dar foarte reproductibilă asigurînd precizii de măsurare cuprinse între 0,001 și 0,0001°C în apropierea temperaturii de 4°K.

Aceste termistoare se utilizează în intervalul de măsurare cuprins între 0,5 și 100°K [3] .

Deși în prezent utilizarea termistoarelor în tehnica măsurării temperaturilor nu este prea răspîndită se poate prevedea, datorită avantajelor pe care le prezintă, extinderea folosirii lor.

5.7. Termometre termoelectrice

Elementul sensibil al acestor termometre îl constituie termocuplul, care în timpul măsurării furnizează o tensiune termoelectromotoare (t.t.e.m) dependentă de diferența de temperatură dintre temperatura măsurată și cea a sudurii reci.

Aceste termometre se utilizează pe scară largă pentru măsurări de temperaturi în intervalul -200°...1600°C ajungîndu-se în ultimul timp și la temperaturi peste 2000°C.

Printre avantajele mai importante ale acestor termometre se menționează : precizia și posibilitatea înregistrării variației temperaturii în timpul desfășurării măsurării.

5.7.1. Principiul de măsurare și legi de bază

Principiul de măsurare se bazează pe efectul termoelectric, denumit de unii autori "efectul Seebeck" după numele descoperitorului, care l-a enunțat astfel : "Într-un circuit închis format din două sau mai multe conductoare diferite, ia naștere un curent electric, dacă cel puțin două puncte de legătură au temperaturi diferite" [1] .

Astfel, așa cum se arată în fig. 5.36, dacă două fire din materiale diferite sînt conectate într-un circuit în care cele două suduri sînt menținute la temperaturi diferite , t_1 și t_2, un voltmetru cu rezistență infinită va detecta o ten-

siune E iar un ampermetru va indica valoarea unei intensități de curent I .

Intr-un circuit termoelectric format din două conductoare de natură diferită iau naștere două tensiuni electromotoare (t.e.m.)

- t.e.m. de contact (efect Volta);
- t.e.m. datorită efectului Peltier - Thomson.

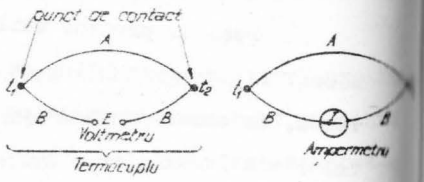


Fig. 5.36. Principiul de măsu re cu ajutorul termocuplului

Relația de bază la măsurarea temperaturii cu ajutorul termocuplurilor :

$$E = f(t) \qquad (5.29)$$

se obține în ipoteza că sudura rece este menținută la o temperatură constantă.

Măsurarea temperaturii cu ajutorul termocuplurilor se bazează pe etalonări empirice, pe utilizarea tabelelor și gr ficelor care conțin valorile exprimate de relația (5.29) pen ferite materiale utilizate (stabilite de asemenea empiric) și pe următoarele așa-numite "legi" termoelectrice.

1. T.t.e.m. care apare într-un circuit termoelectric format din două conductoare, care au sudurile menținute la temperaturile t_1 și t_2 este independentă de temperatura de-a lungul conductoarelor dacă aceste conductoare sînt omogene (fig.5.37 a).

2. Prin inserarea unui al treilea metal omogen, C, în A,fie în B (fig.5.37 b),t.t.e.m. a circuitului termoelec nu se modifică indiferent de temperatura lui C (care se

află la distanță de suduri),dacă noile suduri se mențin la aceeași temperatură.

3. In cazul în care în locul uneia din sudurile circuitului termoelectric se inserează metalul C între A și B (fig.5.37.c), t.t.e.m. nu se modifică dacă sudurile dintre A - C și B - C sînt menținute la aceeași temperatură t_1.

4. Dacă temperaturile sudurii reci t_1 și ale sudurii calde t_2 sînt menținute neschimbate pentru cele trei circuite termoelectrice reprezentate în fig. 5.37 d,și dacă se notează t.t.e.m. pentru cuplurile A - C, C - B și A - B respectiv E_{AC}, E_{CB} și E_{AB} se poate scrie egalitatea :

$$E_{AB} = E_{AC} + E_{CB} \qquad (5.30)$$

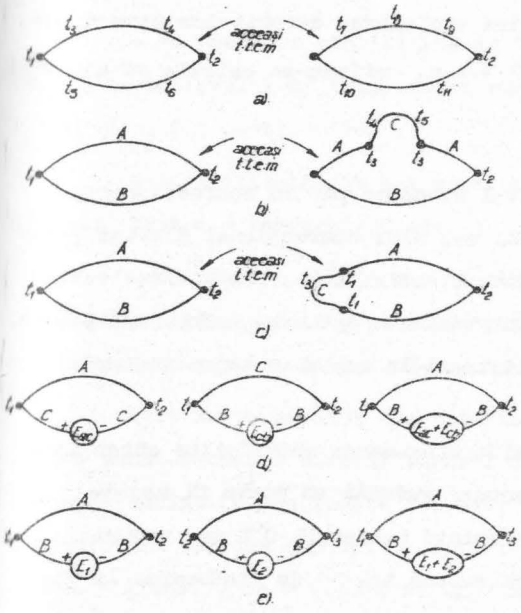


Fig. 5.37. Schematizarea legilor termoelectrice.

5.Dacă într-un circuit termoelectric se produce t.t.e.m. E_1 cînd temperaturile sudurilor sînt t_1 și t_2 și E_2 cînd temperaturile sînt t_2 și t_3, atunci pentru temperaturile sudurilor t_1 și t_3 (fig.5.37 e) se va dezvolta o t.t.e.m. E_3 dată de relația :

$$E_3 = E_1 + E_2 \qquad (5.31)$$

Prima lege stabilește că firele de legătură dintre suduri pot fi pozate în timpul măsurărilor,în medii cu temperaturi

necunoscute (constante sau variabile) fără a influența rezultatul.

Legile 2 și 3 fac posibilă inserarea unui dispozitiv de măsurare a t.t.e.m; dispozitivul de măsurare se poate monta în circuit în cele două moduri ilustrate prin fig. 5.37 b și c ; acesta, substituind conductorul C. De asemenea, a treia lege arată că joncțiunea extremităților conductorilor termocuplului poate fi realizată și cu ajutorul unui metal de adaos, (cositor, alamă etc.), prin lipire, sau prin intermediul piesei metalice a cărei temperatură se măsoară, dacă se fixează în această piesă, extremitățile conductorilor termocuplului.

A patra lege arată că, dacă se ia un metal standard și se etalonează termocuplurile formate din acesta și fiecare metal individual ce poate fi utilizat ca material de execuție a termocuplurilor, nu va mai fi necesară etalonarea diferitelor perechi de conductoare utilizabile, t.t.e.m. putîndu-se calcula cu ajutorul relației (5.30).

In calitate de metal standard pentru confecționarea unuia dintre termoelectrozi s-a ales convențional platina pură. Acest termoelectrod constituit astfel se numește termoelectrod normal. In tabele [1] sînt indicate diferite valori ale t.t.em. pentru o serie de termoelectrozi în cuplu cu termoelectrodul normal.

Legea a cincea permite efectuarea măsurărilor chiar în condițiile în care temperatura sudurii nu poate fi menținută la temperatura de referință (obișnuit $0^{o}C$ sau uneori $+20^{o}C$ și $50^{o}C$) pentru care există tabele de etalonare. In fig. 5.37 c, este ilustrat cazul în care temperatura sudurei reci t, din timpul măsurării este diferită de temperatura de referință

t_0 la care s-a efectuat etalonarea.

5.7.2. Materiale utilizate pentru termocupluri

In funcție de natura materialelor utilizate, termocuplurile se împart în cinci mari grupe :

- termocupluri din metale nobile ;
- termocupluri din metale neprețioase ;
- termocupluri cu un termoelectrod din metal nobil și celălalt termoelectrod din metal neprețios ;
- termocupluri cu un termoelectrod metalic și un termoelectrod nemetalic ;
- termocupluri din materiale nemetalice.

La alegerea materialelor pentru confecționarea termocuplurilor se va ține seama de următoarele condiții ce li se impun :

- să prezinte stabilitate în timp pentru proprietățile fizice în intervalul de temperaturi măsurate (caracteristica $E = f(t)$ să fie invariabilă) ;

-sensibilitate cît mai mare adică t.t.e.m să fie cît mai mare pentru o temperatură dată ;

- materialul să fie ieftin, ușor procurabil și să prezinte proprietăți identice pentru a permite interschimbabilitatea termocuplului de aceiași natură.

Deși multe cupluri din materiale diferite manifestă într-o anumită măsură efectul termoelectric, totuși ținîndu-se seama de cerințele menționate mai sus, în practică se utilizează obișnuit următoarele cupluri de materiale : Pt Rh - Pt, Fe - Const., Cromel - Alumel[x], Cu - Const, Ni Cr - Ni și cromel-copel[xx] etc.

[x] Termoelectrodul pozitiv se compune din 85% Ni, 10% Cr și 5% adaosuri, iar cel negativ din 95% Ni și în rest adaosuri(Al,Si,Mn)

[xx] Copelul ca și constantanul este un aliaj de Cu cu Ni.

Aceste termocupluri se utilizează numai pînă la 1600°C.

In figura 5.38 sînt date curbele de etalonare pentru cîteva termocupluri metalice în cazul temperaturii sudurii reci menţinută la 0°C.

Deoarece efectul termoelectric este oarecum neliniar, sensibilitatea variază cu temperatura. Din fig.5.38 se observă că sensibilităţi mari se obţin pentru Cromel-Const, Fe - Const şi Cu - Const , iar sensibilităţi minime pentru PtRh-Pt. Astfel,

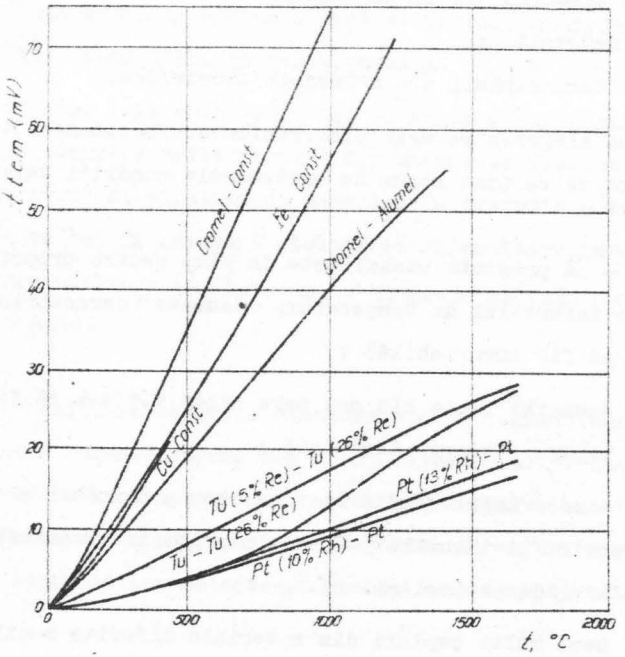


Fig. 5.38. Variaţia t.t.e.m. în funcţie de temperatură.

pentru termocuplul Cu - Const sensibilitatea este de cca 60 $\mu V/^{o}C$ la 350°C iar pentru termocuplul PtRh-Pt sensibilitatea este de cca 6 $\mu V/^{o}C$ între 0 şi 100°C.

In literatura de specialitate [1] , [2] , [4] sînt date

tabele care cuprind valorile medii de etalonare E = f(t) .

Referitor la domeniul de utilizare, se menţionează că termocuplul din PtRh-Pt, deşi poate fi utilizat în intervalul 0...1500°C, este indicat numai în intervalul 900...1500°C. Platina rezistă foarte bine în atmosfere oxidante şi foarte puţin în cele reducătoare. La utilizarea acestui termocuplu pentru temperaturi ridicate,cei doi termoelectrozi trebuiesc amplasaţi separat realizîndu-se şi o etanşare între ei pentru a se evita pătrunderea reciprocă a vaporilor metalici [1] .

Termocuplurile Cromel-Alumel sînt utilizabile în intervalul -200...1300°C însă se întrebuinţează obişnuit în intervalul 700...1200°C în atmosfere nereducătoare.

Termocuplurile Cu-Const se pot folosi în intervalul -200...400°C. Limitarea temperaturii la 400 C se datoreşte oxidării cuprului peste această temperatură. Acest termocuplu este întîlnit frecvent în măsurătorile de laborator şi la standurile de încercări.

Un termocuplu de asemenea foarte răspîndit la experimentarea maşinilor şi instalaţiilor termice este termocuplul Fe-Const. El poate fi utilizat în intervalul -150°...1000°C. In atmosferă oxidantă temperatura de folosire este limitată la 760°C.

Pentru temperaturi mai ridicate se utilizează aliaje pe bază de: platină, iridiu, rodiu, wolfram, termocupluri cu un termoelectrod metalic şi unul nemetalic ca de exemplu wolfram-carbon (tub din grafit cu un fir din wolfram în interior), termocupluri din materiale nemetalice ca termocuplul Carbură de siliciu - Carbon (C Si - C), termocuplu Grafit - Grafit (teaca este din grafit policristalin iar bagheta centrală din grafit pirolitic).

In tabela 5.6 sînt trecute domeniile de folosinţă şi va-

lorile medii ale t.t.e.m. pentru unele termocupluri ce se întîlnesc în practică.

Tabela 5.6. Domeniile de utilizare şi valorile medii ale t.t.e.m. pentru unele termocupluri utilizabile

Nr. crt.	Natura termocuplului	Domeniul de utilizare °C.	Valori medii ale t.t.e.m. în μV/°C.
1.	Cu - Cu + o,oo66 % Sn	- 271 .... -243	6
2.	Cu - Const	- 2oo 4oo	4o
3.	Fe - Const	- 15o 1ooo	5o
4.	Ni Cr - Ni	o 11oo	4o
5.	Pt 5% Rh - Au 46% Pd 2% Pt	o 13oo	45
6.	Pt 1o% Rh - Pt	o 17oo	9,5
7.	Pt 3o% Rh - Pt 6% Rh	o 18oo	4,8
8.	Ir % Rh - Ir	o 2ooo	5,4
9.	W 26% Re - W	o 28oo	17,5
1o.	W 26% Re - Ta	1ooo 28oo	13,3
11.	W - 25% Mo 75% W	o .... 3ooo (numai în gaz inert)	3

5.7.3. Confecţionarea termocuplurilor

Pentru măsurările de **temperaturi** în diferite puncte ale traiectului de aer şi gaze de la cazanele de apă fierbinte sau abur sau pentru măsurările temperaturii fluidelor (apă, abur etc), care curg prin conducte se utilizează frecvent termocupluri de construcţie specială, pentru aceste scopuri, montate în teci de protecţie [1] .

Deoarece sînt frecvente cazurile în care,pentru măsurări de temperatură în timpul experimentărilor efectuate la maşinile şi instalaţiile termice,trebuiesc executate termocupluri în funcţie de locul de măsurare, se vor da în continuare cîteva indicaţii succinte privind executarea sudurilor.

Termoelectrozii se pregătesc pentru sudare după una din variantele arătate în fig. 5.39. Inainte de sudare capetele se curăţă şi se decapează. Obişnuit se fixează termoelectrozii între două bucăţi de lemn cu ajutorul unei menghine ; uneori în timpul operaţiei de sudare termoelectrozii pot fi ţinuţi direct cu mîna. Apoi se încălzeşte zona capetelor la roşu cu o flacără neutră pentru Fe-Const şi neutră sau uşor oxidantă pentru Cromel-Alumel, se aplică borax şi se încălzeşte puternic locul pînă se formează o bilă fără crăpături sau alte defecte. La fel, se poate proceda şi cu Cu-Const însă flacăra trebuie să fie neutră.

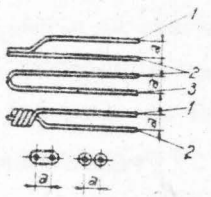


Fig. 5.39. Pregătirea electrozilor pentru sudare.
1. metal moale ;
2. metal dur ;
3. metal cu duritate medie.

Pentru termocuplul **PtRh-Pt** se poate folosi un arzător hidrogen-oxigen sau mai indicat arcul electric. La utilizarea arcului electric se recomandă ca electrodul negativ să fie din carbon iar electrodul pozitiv să fie însăşi **termoelectrozii.**

Pentru termocuplurile din sîrme subţiri se indică şi soluţia răsucirii la un capăt şi lipirea cu un material de lipit corespunzător. Astfel, pentru Fe-Const şi Cu-Const se foloseşte staniu, iar ca praf de sudare colofoniu.

Pentru termocupluri din metale nobile utilizate pentru temperaturi pînă la 5oo°C, simpla răsucire a capetelor termoelectrozilor este suficientă. Pentru temperaturi mai ridicate se utilizează uneori şi pentru termocuplurile din metale nobile lipirea la flacără cu ajutorul aliajului de lipit pe bază de argint. Această lipire cu aliaj dur se poate utiliza şi pentru termocuplurile din Fe-Const şi Cu-Const care urmează să măsoare temperaturi mai mari ca 15o°C.

Termoelectrozii cu un diametru de o,2 mm se pot suda uşor unii de alţii,cu ajutorul cleştilor pentru electrozi de sudare şi electrozilor de cărbune,prin folosirea unui transformator mic (cca 1,5...6 V şi 5o...1oo A).

Pentru sudarea punctiformă a locului joncţiunii termoelectrozilor se foloseşte descărcarea unui condensator. Astfel, se utilizează un condensator cu o capacitate de 4÷8 μF legat, prin intermediul unui releu limitator de curent cu o rezistenţă de 2o ÷ 5o KΩ , de un redresor ce furnizează o tensiune continuă de 3oo-5oo V. Termoelectrozii au cîte un capăt legat la bornele condensatorului astfel că, după încărcare, este suficientă atingerea celorlalte două extremităţi pentru ca să se producă o descărcare instantanee care produce sudura punctiformă. Capacitatea condensatorului şi tensiunea de încărcare se recomandă să se aleagă prin încercări, în funcţie de grosimea şi natura termoelectrozilor.

5.7.4. Temperatura sudurii reci

Aparatele de măsurat utilizate într-un ansamblu termoelectric sînt gradate faţă de temperatura de referinţă a sudurii reci, indicată de reperul iniţial al scării şi care poate fi 0°C, 2o°C sau 5o°C.

Atunci cînd executăm etalonarea unui termocuplu,cu care urmează să efectuăm măsurări, ne putem alege şi alte temperaturi convenabile,ca de exemplu temperatura mediului ambiant,dacă ştim că aceasta este aproximativ constantă.

Temperatura constantă a sudurii reci se obţine prin :

- Ingroparea sudurii reci în pămînt la o adîncime de 4 m (temperatura variază într-un an cu cîteva grade) ; procedeul este costisitor, se aplică rar, iar pentru măsurări de mare precizie sau pentru măsurări ce se efectuează în cadrul unor experimentări de scurtă durată nu se va folosi.

- Cu ajutorul unui vas Dewar umplut cu gheaţă în curs de topire (pentru măsurări de precizie umplerea vasului trebuie făcută cu atenţie, utilizîndu-se gheaţă pisată), sau apă, ulei, la temperatura de 2o°C, 5o° sau la o temperatură apropiată de aceea a mediului ambiant (pentru a se menţine constantă un timp mai îndelungat chiar dacă temperatura mediului înregistrează variaţii mici). In acest caz se impune izolarea electrică a termoelectrozilor.

- Cu ajutorul unui termostat pentru care se alege temperatura cea mai ridicată a mediului. Termostatele obişnuite menţin temperatura de +5o°C cu variaţii care oscilează între ± o,1°C în funcţie de tipul termostatului.

Se pot efectua măsurări corecte şi fără a menţine sudura rece la o temperatură constantă, dacă se face corecţia prin calcul (vezi fig.5.37 e), reglarea poziţiei de zero a aparatului sau dacă se utilizează montajele de compensaţie.

In cazul corecţiei prin calcul valoarea t.t.e.m. E_2 din relaţia (5.31) poate fi luată din tabele sau se calculează cu relaţia :

$$E_2 = K'(t_m - t_e) \qquad (5.32)$$

în care K' este un factor de corecţie ce se găseşte în tabele (de exemplu, în tabela 5.7 sînt date cîteva valori) ;

t_m - temperatura sudurii reci în timpul măsurării,în °C;

t_e - temperatura sudurii reci la etalonare, în °C ;

Tabela 5.7. Valorile coeficientului de corecţie K' pentru cîteva termocupluri uzuale; temperatura sudurii reci : 0 ... 5o°C

Termocuplul	K' mV/grd
Pt RR - Pt	o,oo6
Ni Cr - Ni	o,o41
Fe - Const	o,o53

Referitor la modificarea poziţiei de zero a aparatului indicator se menţionează că aceasta se poate face manual după ce se determină temperatura sudurii reci din timpul măsurării sau automat cu ajutorul unui compensator bimetalic.

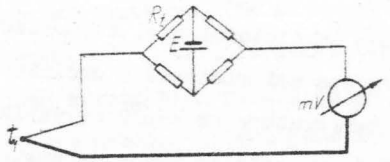


Fig. 5.4o. Schema de principiu a unui montaj utilizat pentru compensarea fluctuaţiilor t.t.e.m. cauzate de variaţiile temperaturii sudurii reci.

In fig. 5.4o se arată schema montajului cel mai utilizat pentru compensarea fluctuaţiilor t.t.e.m. cauzate de variaţiile temperaturii sudurii reci. Rezistenţa R_t a punţii Wheatstone este dependentă de temperatură şi este astfel dimensionată încît, la temperaturi exterioare variabile, apar tensiuni de ieşire care compensează abaterile tensiunii termoelectrice (tensiunea de ieşire a punţii este în serie cu t.t.e.m.).

5.7.5. Cabluri de compensaţie

Se întîlnesc frecvent situaţii în care joncţiunea rece a termocuplului o constituie locul de racordare a capetelor termocuplului (bornele termocuplului) cu firele de legătură.

Deoarece temperatura la bornele termocuplului poate varia mult, cum se întîmplă de exemplu în cazul unor măsurători ce se efectuează la cazanele de abur, se impune prelungirea termoelectrozilor în zonele cu temperaturi joase care pot fi menţinute constante. Această prelungire se poate executa cu conductori confecţionaţi din acelaşi material ca termoelectrozii sau cu conductori speciali, care în intervalul de temperaturi 0...loo°C dezvoltă o t.t.e.m. egală cu cea a termocuplurilor respective.

Cablurile de prelungire, care se numesc şi cabluri de compensaţie, trebuie să aibă secţiunea de minimum 1,5 mm^2 şi să fie bine izolate între ele.

In tabela 5.8 sînt trecute cablurile de prelungire utilizate în practică [1] .

Tabela 5.8. Natura conductorilor de prelungire

Nr. crt.	Termoelectrozii termocuplului		Conductoarele de prelungire.	
	pozitiv	negativ	pozitiv	negativ
1	cupru	constantan	cupru	constantan
2	fier	constantan	fier	constantan
3	cromel	alumel	cromel	alumel
			cupru	constantan
			fier	aliaj cupru-nichel (99,4% Cu - o,6% Ni)
4	platină rodiată	platină	cupru	aliaj cupru nichel (99,4% Cu - o,6% Ni)

Este deosebit de important să se aleagă corect cablurile de prelungire şi să se respecte polaritatea la executarea

racordării. Pentru un cablu de prelungire corect ales dar racordat greşit în ceea ce priveşte respectarea polarităţii, se comite o eroare dublă faţă de eroarea pe care dorim s-o eliminăm.

Pentru recunoaşterea uşoară a cablurilor de prelungire, acestea sînt marcate cu ajutorul firelor din bumbac colorate (tabela 5.9). Izolaţia electrodului pozitiv este roşie indiferent de natura termocuplului.

Tabela 5.9. Culorile de marcare pentru cablurile de prelungire româneşti

Termocuplul	Culoarea de marcare
Fe-Const	albastru
Cromel-Alumel	verde
Pt Rh-Pt	alb

5.7.6. Fixarea termocuplurilor

La fixarea termocuplului trebuie ţinut seama de mai mulţi factori, ca : natura corpului asupra căruia se efectuează măsurarea, gradul de precizie necesar, regimul de temperaturi ce se măsoară, starea de mişcare sau repaus etc.

5.7.6.1. Măsurarea temperaturii corpurilor solide

In cazul măsurării temperaturii la suprafaţa corpului, principala dificultate constă în modul de fixare a sudurii calde.

In vederea micşorării erorilor la măsurarea temperaturii suprafeţei corpurilor cu ajutorul **termocuplurilor, se impune respectarea** următoarelor prescripţii generale :

- dimensiunile termocuplului şi elementelor utilizate eventual pentru fixare, să fie reduse la minimul necesar ;

- termoelectrozii trebuiesc menţinuţi în imediata vecinătate a punctului de măsurare (locul de fixare a sudurii calde), de-a lungul unei suprafeţe izoterme, pe o porţiune egală cu cel puţin de 2o ori diametrul termoelectrodului;

- punctul de măsurare trebuie să fie situat cît mai aproape de suprafaţă ;

- perturbarea condiţiilor ambiante datorită fixării termocuplului să fie minimă ;

- rezistenţa termică între sudura caldă a termocuplului şi suprafaţă trebuie să fie minimă.

Uneori, sudura caldă poate fi realizată direct pe materialul de bază. Astfel se poate realiza sudarea unei sîrme din cupru de un corp masiv din oţel (fig.5.41). Atunci cînd este posibil se realizează lipirea directă a sudurii calde pe suprafaţa materialului de bază (fig.5.42.)

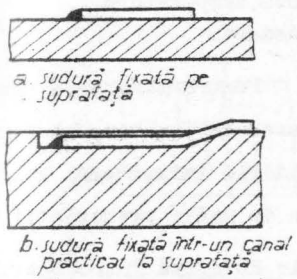


Fig.5.41 Sudarea directă a termoelectrodului la suprafaţa corpului.

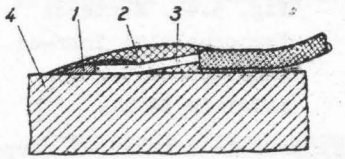


Fig. 5.42. Montarea unui termocuplu prin lipire.

1 - sudură caldă ;
2 - material de protecţie ;
3 - termoelectrod ;
4 - material de bază.

In cazul măsurării temperaturii corpurilor cu conductibilitate termică redusă se recomandă ca sudura caldă să se fixeze pe plăcuţe metalice (cupru) fig. 5.43.

In fig. 5.44 şi 5.45 sînt indicate alte două soluţii, care se pot utiliza uneori, pentru măsurarea temperaturii supra-

feţei.

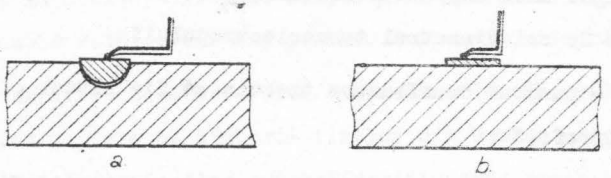


Fig. 5.43. Fixarea sudurii calde în cazul măsurării temperaturii suprafeţei unui material cu conductibilitate termică redusă.

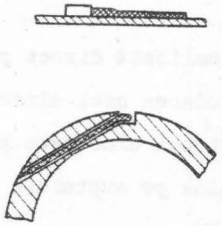


Fig. 5.44. Montarea termocuplului într-un canal practicat în peretele ţevii.

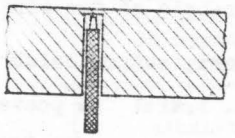


Fig. 5.45. Fixarea sudurii calde, în spatele suprafeţei a cărei temperatură se măsoară.

Pentru măsurarea temperaturii în interiorul corpurilor (peretele ţevilor, blocuri şi culase de motoare şi compresoare, zidărie **refractară** etc) este de asemenea necesar să se ţină seama de unele prescripţii ca :

- perturbarea cîmpului termic datorită introducerii termocuplului să fie minimă ;

- montarea termoelectrozilor în imediata vecinătate a punctului de măsurare trebuie făcută de-a lungul unei suprafeţe izoterme pe o lungime cu atît mai mare,cu cît conductibilitatea termică a materialului corpului este mai redusă ;

- realizarea unui contact cît mai bun între sudura caldă şi peretele corpului, în punctul de măsurare.

Deoarece orificiul practicat în corp pentru introducerea

rea termocuplului produce o perturbare a cîmpului termic dependentă de dimensiunile acestui orificiu şi de conductibilităţile termice ale corpului şi termocuplului,dimensiunile orificiilor sînt limitate.Astfel,pentru corpurile cu conductibilitate termică bună,raportul dintre diametrul şi adîncimea găurii poate fi de maximum 1/5 iar la cele cu conductibilitate termică redusă de maximum 1/1o ... 1/15.

In vederea măsurărilor de temperatură în interiorul corpurilor, sudura caldă se poate fixa după caz prin următoarele procedee : **cimentare** , presare , **ştemuire** cu ajutorul dopurilor etc. Fixarea prin sudare deşi posibilă teoretic este dificilă de realizat practic.

In fig. 5.46 ... 5.49 sînt indicate cîteva exemple de fixare a sudurii calde la astfel de **măsurări de temperatură.**

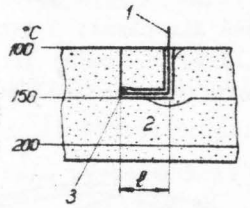


Fig. 5.46. Montarea termocuplului la măsurarea temperaturii în interiorul unui corp cu λ scăzut.
1 - termoelectrozi ;
2 - corp din şamotă ;
3 - sudura caldă.

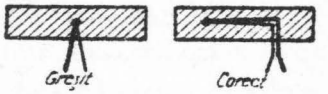


Fig. 5.47. Montarea greşită şi corectă a termocuplului în cazul măsurării temperaturii în interiorul unui corp solid.

In fig. 5.5o termoelectrozii sînt nituiţi separat în dop, circuitul termoelectric închizîndu-se prin acesta.

Fixarea prin ştemuire se utilizează mai ales pentru măsurarea temperaturii ţevilor de la **cazanele de abur.O soluţie**

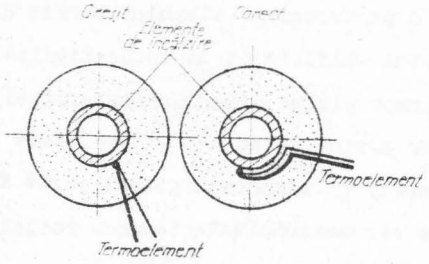


Fig. 5.48. Montarea greşită şi corectă a termocuplului în cazul măsurării temperaturii exterioare a ţevilor izolate termic.

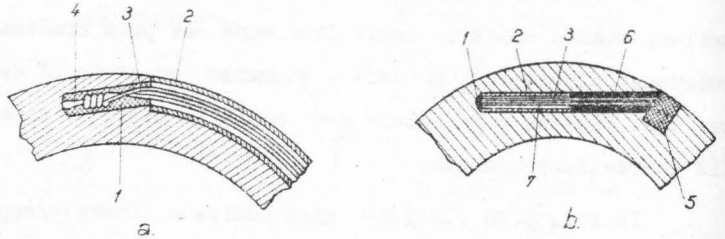


Fig. 5.49. Exemple de montare a termocuplului pentru măsurarea temperaturii în pereţii ţevilor. 1 - ciment special; 2 - ţeavă din alamă; 3 termoelectrod; 4 - gaură tangenţială; 5 - canal longitudinal; 6 - material izolant; 7 - lac izolant.

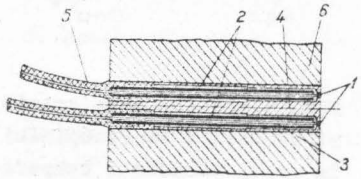


Fig.5.5o. Montarea unui termocuplu prin fixare cu dop.

1 - sudură caldă (termoelectrod nituit) ;
2 - tub de cuarţ ;
3 - termoelectrod ;
4 - dop conic ; 5 - azbest;
6 - material de bază.

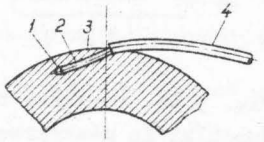


Fig. 5.51. Montarea unui termocuplu în tăietură prin ştemuire

1 - tăietură ;
2 - termoelectrod ;
3 - materialul ţevii după ştemuire ;
4 - termoelectrod izolat.

de fixare a termoelectrozilor prin ştemuire , constă în introducerea capetelor în două orificii foarte apropiate cu adîncimea de cca 2 mm şi cu diametrul mai mare cu o,o2 mm faţă de cel a sîrmei şi în realizarea ştemuirii propriu-zise cu o sculă specială [1] . Altă soluţie de fixare prin ştemuire (fig.5.51), constă în realizarea unei tăieturi oblice în peretele ţevii cu ajutorul unei dălţi şi în baterea materialului ţevii după introducerea în prealabil a sudurii calde.

Pentru introducerea sudurii calde în interiorul unor materiale moi (cauciuc, material plastic etc.) este indicată folosirea unor scule speciale. Cînd scula este retrasă (fig.5.52), sudura caldă este reţinută în material la adîncimea dorită.

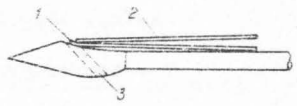


Fig. 5.52. Montarea unui termocuplu într-un corp moale.

Materialele utilizate pentru izolarea electrică sînt : parafina sau ceara de albine topită pentru măsurări de temperaturi scăzute, materialele plastice(pînă la cca 18o°C),lacurile siliconice (între 3oo...55o°C), sticla ordinară (pînă la 35o°C) şi sticla termorezistentă (pînă la looo°C) pentru temperaturi ridicate. Peste looo°C singurele materiale care rezistă sînt materialele refractare.

Relativ la cimenturile de fixare se menţionează că acestea pot fi : cauciucate, ceramice, dentare, produse plastice sintetice etc. Un ciment indicat pentru temperaturi de pînă la 85o°C care aderă bine la metale este Technical B.

5.7.6.2. Măsurarea temperaturii fluidelor cu ajutorul termocuplurilor

La măsurarea temperaturii fluidelor, în curgere, dato-

rită fenomenului de frînare se determină temperatura de frînare și nu cea reală a fluidului. In cazul lichidelor, vitezele de curgere fiind mai reduse se poate considera întotdeauna că, temperatura de frînare este egală cu temperatura reală. Pentru gaze și vapori, vitezele de curgere putînd înregistra valori de la viteze mici de curgere pînă la viteze supersonice, se obișnuiește a se considera viteză mare, viteza de la care nu se mai poate neglija eroarea datorată fenomenului de frînare.

Astfel, dacă se notează cu :

T - temperatura statică a fluidului (temperatura fluidului care s-ar măsura dacă termocuplul s-ar deplasa în sensul curgerii cu o viteză egală cu a fluidului, în ^{o}K;

T_f - temperatura de frînare în ^{o}K;

W - viteza locală de curgere a fluidului în m/s;

c_p - căldura specifică la presiune constantă în $JKg^{-1}\ grad^{-1}$, ecuația curgerii adiabatice dă următoarea relație între T și T_f :

$$\frac{W^2}{2} + C_p.T = C_p\ T_f \qquad (5.32)$$

care pentru aer devine :

$$T_f - T = 5.10^{-4}.W^2 \qquad (5.33)$$

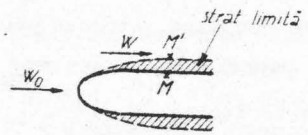


Fig.5.53. Schema amplasării traductorului de temperatură în curentul de fluid.

Dacă M este un punct al peretelui traductorului de temperatură (fig.5.53), considerat izolat din punct de vedere termic de restul corpului, și amplasat într-un fluid care curge cu viteza W_0, temperatura în M se definește ca

temperatura peretelui (T_p). Punctul M' considerîndu-se la frontiera stratului limită pe direcția normală în punctul M, la perete, va avea temperatura T.

In ceea ce privește temperatura T_p se iau în considerare două cazuri :

- dacă stratul limită este laminar diferența de temperatură între T_p și T este pentru aer :

$$T_p - T = 4{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot W^2 \qquad (5.34)$$

adică T_p este mai mic decît T_f cu cca $0{,}8 \cdot 10^{-4} \cdot W^2$;

- dacă stratul limită devine turbulent, raportul $T_p - T/W^2$ crește cînd W se mărește, și diferența $T_p - T$ tinde către $5 \times 10^{-4} \cdot W^2$; aceasta înseamnă că temperatura peretelui tinde către temperatura de frînare adiabatică.

Pînă la o viteză de 64 m/s diferența rămîne inferioară lui 2^{o}.

Cel mai des se întîlnesc în practica măsurării temperaturilor fluidelor în curgere la mașinile termice, cazurile vitezelor moderate de curgere la care se poate neglija eroarea datorată fenomenului de curgere.

Și în cazul măsurării temperaturii fluidelor în curgere, se impun unele condiții ca :

- dispunerea corectă a traductorului de temperatură în cîmp ;

- realizarea unui bun schimb de căldură între fluid și traductorul de temperatura ;

- reducerea la minimum a schimbului de căldură prin conducție și radiație dintre traductorul de temperatură și alte corpuri (ex.peretele țevii) ;

- perturbarea curgerii de către traductorul de temperatu să fie minimă.

Pentru a se evita întîrzierea indicărilor termocuplurilor, utilizează, acolo unde este posibil, termocupluri cu sudura caldă neprotejată (fig.5.54).

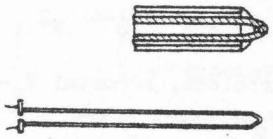


Fig.5.54. Două exemple de suduri calde neprotejate.

In cazurile cînd utilizarea unor termocupluri neprotejate este imposibilă din cauza rezistenţei mecanice sau din alte cauze, se utilizează termocupluri protejate cu o teacă de protecţie specială. La utilizarea tecilor de protecţie se foloseşte uneori un material de umplere care are rolul de a asigura un bun schimb de căldură între materialul tecii şi sudura caldă. In acest caz trebuie avut grijă ca materialul să umple numai partea inferioară a tecii. Relativ la adîncimea de imersie a tecii se recomandă ca aceasta să fie de cca 6 - 8 ori mai mare ca diametrul acesteia. Din acest motiv pentru conducte cu diametru mai mic se va prevedea o montare în direcţie oblică faţă de sensul de curgere a fluidului (5.55).

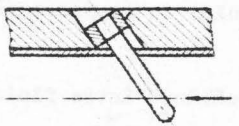


Fig.5.55. Montarea oblică a tecii de protecţie.

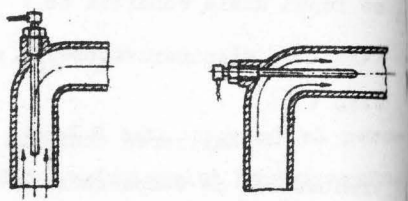


Fig.5.56. Montare corectă şi greşită a tecii termocuplului în ţeavă.

In cazul montării tecii de protecţie în coturile conductelor (fig.5.56), soluţie utilizată adeseori datorită turbioanelor care se produc în punctul de măsură, trebuie ca dispunerea să fie astfel, încît capătul unde se află lipitura să fie spălat de fluidul proaspăt.

Pentru măsurarea temperaturii gazelor şi aburului care se scurge cu viteze mai reduse, se utilizează teci de protecţie cu aripioare în vederea îmbunătăţirii schimbului de căldură.

In cazul montării indicate în fig. 5.56 şi 5.57 teaca termocuplului este aşezată pe o anumită porţiune de-a lungul izotermelor cîmpului de temperaturi, ceea ce face ca rezultatul măsurării să fie mai exact.

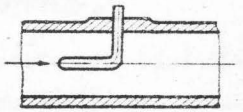


Fig.5.57. Montarea tecii termocuplului în axa unei conducte.

Un factor important, care trebuie luat în consideraţie la măsurarea temperaturilor ridicate ale fluidelor în curgere (gaze de evacuare de la motoare cu ardere internă, abur cu parametrii ridicaţi etc), este schimbul de căldură prin radiaţie între sonda de măsurare care conţine sudura caldă şi peretele ţevii prin care are loc curgerea fluidului.

Astfel, în cazul echilibrului termic pentru un termocuplu care se află în regim permanent şi în ipoteza că prin armătura lui nu se pierde nimic către mediul ambiant, cantitatea de căldură primită de către teacă prin convecţie este egală cu cantitatea de căldură transmisă prin radiaţie de către suprafaţa acesteia pereţilor conductei sau canalului. In baza ecuaţiei bilanţului termic scris pentru acest caz, rezultă relaţia :

$$t - t_t = \frac{4,9 \cdot \varepsilon}{\alpha} \left[\left(\frac{T_t}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] \qquad (5.35)$$

în care :

t - este temperatura reală a fluidului, în ^{o}C;

t_t, T_t - temperatura tecii termocuplului (sau a termocuplului dacă acesta este introdus liber), în ^{o}C respectiv ^{o}K ;

ε_t - factorul de emisie al tecii (sau a termocuplului)

α - coeficientul de transmisie a căldurii prin convecție de la fluid la teacă (termocuplu), în $J/m^2h\ grd$;

T_c - temperatura pereților conductei sau canalului, în ^{o}K.

Pentru ca diferența $t - t_t$ să fie cît mai mică sînt necesare următoarele :

- realizarea tecii dintr-un material cu factor de emisie redus și cu o suprafață cît mai lucioasă ;

- temperatura T_c trebuie să fie cît mai apropiată de temperatura fluidului; această condiție se obține printr-o bună izolare termică a conductei în zona unde se efectuează măsurarea sau, uneori, cînd se impune o exactitate mai mare, se va încălzi conducta în exterior, în zona de măsurare cu o rezistență electrică, pînă la o temperatură egală cu temperatura fluidului ;

- montarea unor ecrane termice în scopul micșorării schimbului de căldură prin radiație (fig.5.58);

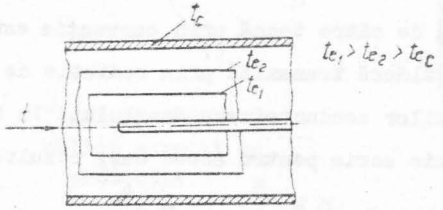


Fig.5.58. Schema principială de montare a două ecrane termice.

- intensificarea schimbului de căldură prin convecție între fluid și peretele tecii sau termocuplului; uneori , pentru realizarea acestui deziderat se mărește în mod artificial viteza fluidului în dreptul tecii sau termocuplului, utilizînd varianta denumită termocuplu cu aspirație.

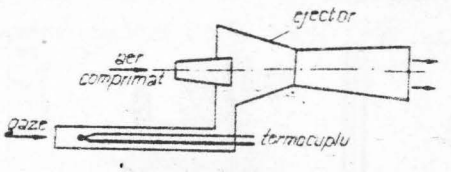


Fig.5.59. Schema de principiu a unui termocuplu cu aspirație, cu ejector.

In cazul măsurării temperaturii unor fluide aflate sub presiune, circulația acestora prin țeava termocuplului se poate realiza cu ajutorul diferenței de presiune față de presiunea atmosferică. Cînd diferența de presiune nu este suficientă pentru realizarea vitezelor de curgere sau cînd presiunea fluidului este sub valoarea presiunii atmosferice, cum se întîmplă uneori în cazul gazelor, se va realiza aspirația cu ajutorul unui exhaustor sau ejector (fig.5.59).

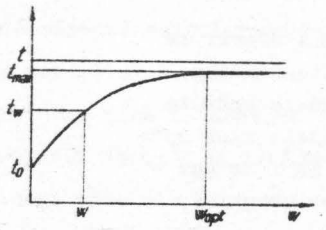


Fig.5.6o. Variația temperaturii indicate funcție de viteza de aspirație.

La utilizarea termocuplurilor cu aspirație nu este rațională creșterea vitezei peste o anumită valoare, w_{opt} (fig.5.6o).

Trebuie subliniat faptul că, soluția utilizată pentru construcția sondei de măsură a temperaturii prevăzută cu termocuplu are o importanță cu atît mai mare, cu cît temperatura fluidului ce se măsoară este mai mare. De asemenea, soluția constructivă este funcție și de viteza de curgere a fluidului. Astfel, pentru soluțiile constructive de sonde de măsurare a temperaturii prevăzute cu termocupluri, prezentate în fig. 5.61, sînt trasate curbe care indică erorile de măsu-

rare în funcţie de temperatură pentru mase mici (fig.5.62) şi mase mai mari (fig.5.63) de gaz care spală sudura caldă.

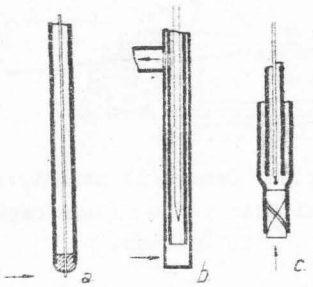


Fig. 5.61. Scheme constructive pentru sonde de **măsurare a temperaturii**.

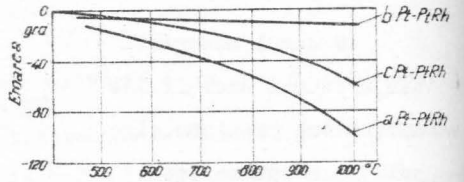


Fig. 5.62. Variaţia erorii de măsurare în funcţie de temperatură pentru sondele arătate în fig. 5.6o (sondele sînt spălate de mase mici de gaz - viteze mici de curgere).

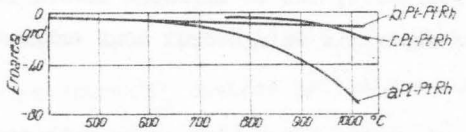


Fig. 5.63. Variaţia erorii de măsurare în funcţie de temperatură pentru sondele arătate în fig. 5.6o (sondele sînt spălate de mase mai mari de gaz - viteze mai mari de curgere).

Pentru măsurarea temperaturii fluidelor în curgere se utilizează uneori, cu rezultate destul de bune, termocuplul semi-blindat prezentat în fig. 5.64.

La utilizarea acestui termocuplu influenţele schimbului de căldură prin radiaţie şi ale efectelor Mach şi Reynolds (regimul de curgere) asupra rezultatului măsurării, sînt relativ mai mici faţă de alte tipuri constructive [4] .

Fig. 5.64.Schema termocuplului semi-blindat.

Pentru măsurarea temperaturilor în tunelurile aerodinamice în care vitezele sînt uneori şi supersonice se utilizează sonde speciale, prevăzute cu termocupluri (fig. 5,65, 5.66 şi 5,67).

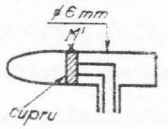


Fig. 5.65. Sondă cu frecare prevăzută cu termocuplu.

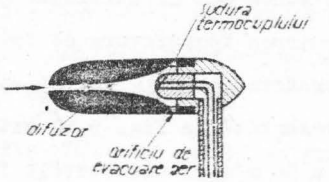


Fig. 5.66. Sondă de frînare prevăzută cu termocuplu.

Sonda cu frecare (fig. 5.65) este prevăzută cu un mic bloc de cupru izolat termic de restul sondei, în care sînt fixaţi termoelectrozii. Această sondă măsoară astfel temperatura peretelui blocului de cupru care vine în contact cu stratul limită al fluidului unde vitezele sînt mult mai reduse în raport cu vitezele la o distanţă infinită în raport cu sonda. Diferenţa între temperatura statică a gazului, T , şi temperatura peretelui de cupru, T_p, în cazul vitezelor $w < 17o$ m/s este dată de relaţia:

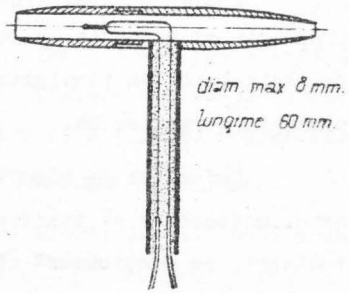


Fig. 5.67. Sondă de frînare prevăzută cu termocuplu.

$$T_p - T = 4{,}1.1o^{-4}. W^2 \qquad (5.36)$$

obţinută la etalonarea unei astfel de sonde într-un curent de aer [9] .

Pentru viteze W mai mari, stratul limită devine turbulent şi această diferenţă se măreşte.

In cazul sondelor de frînare prezentate în fig. 5.66

şi 5.67 vitezele în dreptul sudurii calde sînt mult mai reduse în raport cu viteza reală de curgere W a gazului. Aceste tipuri de sonde pot fi utilizate pentru măsurări în regimuri supersonice deoarece temperatura de frînare rămîne constantă în timpul traversării undei de şoc provocată de sondă. Astfel, pentru sonda prezentată în fig. 5.67 viteza în dreptul sudurii calde este de cca 3o m/s şi diferenţele înregistrate la măsurările temperaturii de frînare sînt de o,2°C pentru viteze de curgere cuprinse între O şi 6oo m/s [1o] .

Pentru a reduce influenţele schimbului de căldură prin conducţie şi radiaţie, partea anterioară a sondelor de frînare se realizează din plexiglas negru iar partea posterioară din plexiglas transparent.

Referitor la măsurările temperaturilor ridicate, cum este cazul motoarelor cu reacţie, motoarelor rachetă şi reactorilor nucleari, se menţionează că, în afara procedeelor bazate pe introducerea directă în gazele a căror temperatură se măsoară a unor termocupluri din materiale speciale (v.5.7.2), se indică şi scheme de măsurare care fac posibilă răcirea în regim continuu (fig. 5.68) sau în regim intermitent (fig.5.69), a fluidului

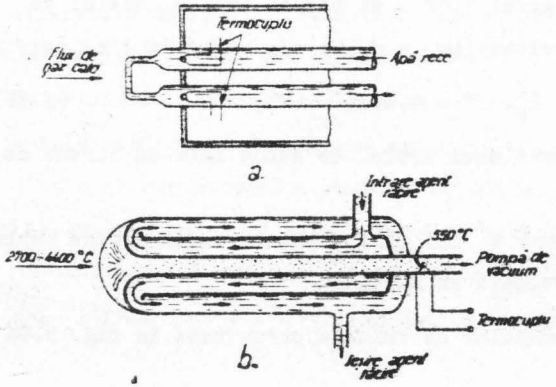


Fig.5.68. Scheme pentru răcirea termocuplului, utilizate la măsurarea temperaturilor ridicate.

care spală sudura caldă a termocuplului [3] .

In cazul schemei din fig.5.68 a, fluxul de gaz cald, a cărui temperatură urmează să fie măsurată, se loveşte de o porţiune mică de ţeavă ridicînd temperatura curentului de apă care circulă prin aceasta cu 5o ÷ 6o°C.

Schema prezentată în fig. 5.68 b, indică un procedeu de răcire directă a gazului. Astfel, gazul cald fiind aspirat, trece printr-un schimbător de căldură, răcindu-se pînă la cca 55o°C.

La utilizarea acestor scheme de măsurare, temperatura gazului se va determina pe baza cunoaşterii coeficienţilor de schimb de căldură, a vitezelor apei sau agentului de răcire, a caracteristicilor constructive şi a temperaturilor măsurate cu termocuplurile, în punctele indicate în scheme.

In figura 5.69 se arată schema simplificată a tehnicii de măsurare a temperaturii, bazată pe răcirea intermitentă a termocuplurilor. Cu ajutorul acestei scheme se pot măsura temperaturi ale gazelor pînă la 38oo°C, cu ajutorul termocuplelor din cromel-alumel (punct de topire de cca 14oo°C).

Sudura caldă este menţinută la o temperatură scăzută cu ajutorul unui curent de aer care trece cu intermitenţă printr-un ventil electromagnetic. Cînd fluxul de apă este oprit datorită închiderii ventilului, termocuplul începe să se încălzească în conformitate cu ecuaţia :

$$\theta \frac{dt_t}{d\tau} + t_t = t \qquad (5.37)$$

în care :

θ - constanta de timp a termocupulului (se presupune cunoscută);

t_t - temperatura termocuplului ;

t - temperatura gazului ;

τ - timpul.

Această ecuaţie arată că temperatura gazului, t , se poate calcula ori de cîte ori dorim, după ce răcirea este oprită, dacă $^{dt}t/d\tau$ se cunoaşte.

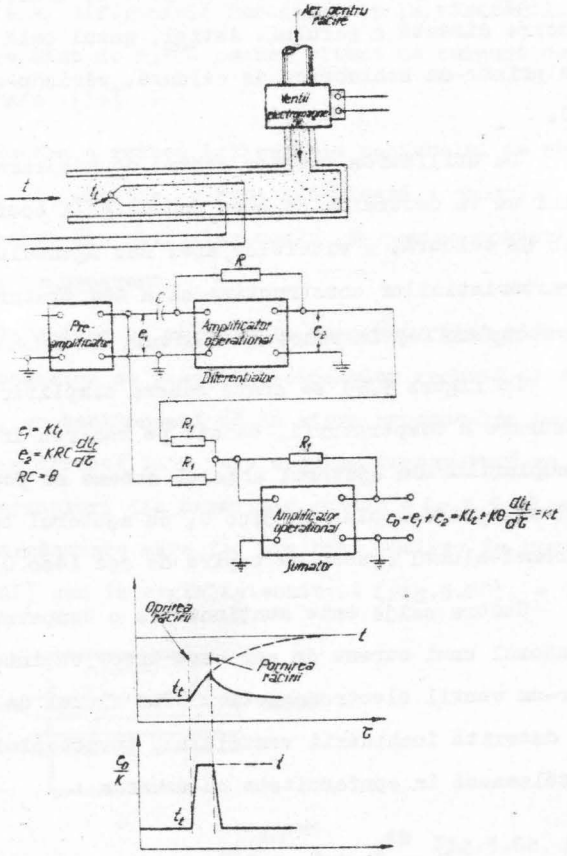


Fig. 5.69. Schema simplificată pentru măsurarea temperaturilor ridicate.cu ajutorul termocuplului răcit în regim intermitent.

Cu ajutorul schemei prezentate în fig. 5.69 se poate obţine o tensiune proporţională lui $^{dt}t/d\tau$ prin folosirea unui circuit de diferenţiere, care,adunată cu o tensiune proporţională cu t_t, produce un semnal proporţional cu t. In practică, răcirea este întreruptă un interval finit de timp în decursul căruia se înregistrează valoarea temperaturii t . Răcirea este pornită din nou înainte de a se produce supraîncălzirea sudurii calde şi a termoelectrozilor. Constanta de timp θ se poate calcula cu ajutorul elementelor de calcul adiţionale, astfel că, la utilizarea schemei prezentate, aceasta nu trebuie cunoscută dinainte.

5.7.7. Montaje speciale

Uneori se recurge la montaje speciale din considerente economice sau pentru mărirea preciziei de măsurare.

Un montaj întîlnit frecvent, în cadrul măsurărilor de temperatură,constă în conectarea mai multor termocupluri la un singur milivoltmetru, prin intermediul unui comutator cu mai multe poziţii. In acest caz comutatorul trebuie să asigure o comutare bipolară, pentru a evita diferite şuntări galvanice.

Pentru măsurarea cu precizie ridicată a temperaturilor în cazul în care între sudura caldă şi cea rece există o diferenţă mică de temperatură, se leagă în serie n termocupluri (fig.5.7o).

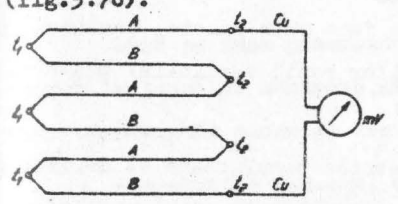


Fig.5.7o. Schemă de montare a termocuplurilor în serie.

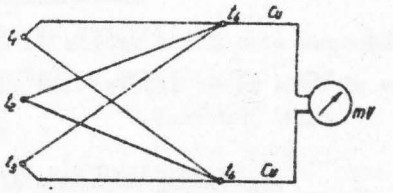


Fig.5.71. Schema de montare a termocuplurilor în paralel.

Pentru determinarea directă a temperaturii medii se utilizează schema de montare a termocuplurilor în paralel (fig.5.71).

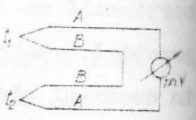


Fig.5.72. Schema montajului diferenţial

Pentru măsurarea diferenţelor de temperatură se utilizează uneori montajul diferenţial (fig.5.72). La acest montaj termocuplurile sînt legate în opoziţie. Dacă termocuplul utilizat nu are o caracteristică liniară, t.t.e.m. măsurată la acest montaj depinde atît de diferenţa de temperatură cît şi de valoarea medie a temperaturii.

5.7.8. Mijloace şi procedee pentru măsurarea t.t.e.m.

Aparatele utilizate frecvent la măsurarea temperaturilor cu ajutorul termocuplurilor sînt milivoltmetrele.

În cadrul cercetărilor experimentale se utilizează adeseori galvanometrele.

Milivoltmetrele pirometrice pot fi grupate în aparate indicatoare, înregistratoare şi regulatoare.

Milivoltmetrele înregistratoare sînt construite pentru înregistrarea unei singure temperaturi sau mai multor temperaturi [3, 6, 12 etc.].

Înregistrarea se poate face prin puncte, continuu (pentru înregistrarea temperaturilor rapid variabile) sau prin afişare numerică.

Milivoltmetrele pirometrice regulatoare se utilizează pentru semnalizarea temperaturilor limită, dar mai ales, pentru reglarea temperaturii între două valori permise.

Cînd se cere o precizie mai mare în măsurare, se utilizează procedeul de compensare. Acest procedeu constă în compensarea t.t.e.m. cu o altă tensiune reglabilă cunoscută, astfel, încît curentul în circuitul de compensare să fie nul. Pentru măsurarea t.t.e.m. cu ajutorul schemei din fig. 5.73, se deplasează cursorul C pînă cînd galvanometrul de zero indică un curent nul. La această schemă controlul curentului de lucru, I , se realizează prin conectarea pe rezistenţa R_1 a pilei etalon E_N.

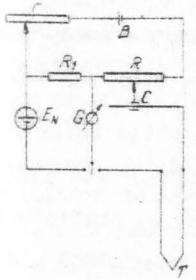


Fig. 5.73. Schemă pentru măsurarea prin compensare.
B - baterie; E_N - pilă etalon; r - rezistenţa de reglaj; G - Galvonometru de zero; t - termocuplu.

În general, compensatoarele realizează şi compensarea automată a temperaturii sudurii reci.

Compensatoarele se pot grupa în : compensatoare de laborator şi de panou (automate şi înregistratoare).

Pentru obţinerea preciziilor mari în măsurare, se intercalează un amplificator de tensiune continuă între termocuplu şi aparatul indicator. Aceste amplificatoare au o impedanţă de intrare mare(10^3....$10^8\Omega$) astfel încît nu este necesar să se regleze rezistenţa circuitului exterior.

5.7.9. Erori la măsurarea temperaturilor cu ajutorul termocuplurilor

Dacă se face presupunerea că sudura caldă este montată corect la locul de măsurare, atunci mai trebuie să se aibă în vedere următoarele cauze de erori :

- abaterile t.t.e.m. de la valoarea prescrisă;
- fluctuaţiile temperaturii sudurii reci;
- variaţiile rezistenţei termocuplului, cablului de

compensaţie şi cablului de conexiune;

- erori ale dispozitivului de măsurat.

In tabela 5.1o sînt trecute erorile totale probabile calculate pentru cîteva instalaţii de măsurare a temperaturii cu ajutorul termocuplurilor, corespunzătoare pentru patru valori maxime ale domeniului de măsurare [6] .

Din această tabelă se observă că dacă se iau unele măsuri (tipul C al instalaţiei) ca : reducerea la jumătate a erorilor datorită abaterii t.t.e.m., eliminarea completă a influenţei fluctuaţiilor rezistenţei termocuplului, cablului de compensaţie şi cablului de conexiune, prin utilizarea unui compensator sau amplificator, creşterea preciziei citirilor prin comprimarea cu ajutorul unei contratensiuni a zonei iniţiale care nu prezintă interes şi eliminarea erorilor provenite din fluctuaţiile temperaturii sudurii reci (reglarea poziţiei de zero funcţie de temperatura camerei, menţinerea constantă a temperaturii sudurii reci şi procedeul de compensare electrică a variaţiilor temperaturii), eroarea totală de măsurare se reduce mult.

- Tabela 5.1o -

Eroarea totală a instalaţiilor de măsurare a temperaturii cu termocuplu, în grade, calculate pentru valoarea maximă a domeniului de măsurare

Felul instalaţiei	Termocuplul	Valoarea maximă a domeniului de măsurare			
		6oo°C	9oo°C	12oo°C	16oo°C
1	2	3	4	5	6
A Termocuplu standardizat cu valori normale ale erorilor datorită abaterii t.t.e.m.	Fe-Const	±13	±17	-	-

Continuare tabela 5.1o

1	2	3	4	5	6
Voltmetru clasa 1,5. Absorbţie de curent 1oo μA. Compensaţie a circuitului de măsurare în stare caldă de funcţionare. Suma rezistenţelor depinzînd de temperatură, afară de termocuplu, 5o Ω . Variaţiile temperaturii camerei cca ±1o°C.	Ni Cr-Ni	±14	±18	±24	-
	Pt Rh-Pt	±23	±24	±25	±29
B Idem, dar cu voltmetru de clasa 1.	Fe-Const	±12	±14	-	-
	Ni-Cr- Ni	±12	±15	±18	-
	Pt Rh-Pt	±22	±21	±21	±23
C Idem, dar cu voltmetru de clasa o,5 la Pt Rh-Pt, cu absorbţie de curent de 5o μA.Compensarea fluctuaţiilor temperaturii sudurii reci.	Fe-Const	± 6	± 8	-	-
	Ni Cr-Ni	± 6	± 8	±11	-
	Pt Rh-Pt	±1o	±1o	±1o	±12
D Termocuplu cu toleranţa redusă la jumătate, conform cu DIN 4371o. Amplificator cu toleranţa ±o,1% cu ampermetru de clasa o,5 şi 5o% suprimarea domeniului de măsurare. Variaţiile temperaturii camerei, ±1o°C. Compensarea variaţiilor temperaturii de comparaţie.	Fe-Const	± 3	±4,5	-	-
	Ni Cr-Ni	± 3	±4,5	± 6	-
	Pt Rh-Pt	±2,5	± 4	± 5	± 7

5.8. Termometre cu cristale de cuarț

Procedeele de măsurare și înregistrare a temperaturii, studiate anterior, ridică uneori probleme greu rezolvabile în cazul temperaturilor care variază rapid.

Astfel, la studierea motoarelor cu ardere internă cu piston cînd trebuiesc măsurate temperaturile în timpul proceselor de compresiune, ardere, destindere și evacuare, este necesar să se folosească traductoare de temperatură cu o sensibilitate mare și o capacitate termică scăzută, care de asemenea trebuie să prezinte o rezistență mecanică suficientă pentru a face față solicitărilor din timpul desfășurării proceselor de lucru.

Pentru măsurarea acestor temperaturi la standurile de încercări ale motoarelor cu ardere internă au început să se utilizeze în ultimii ani termometrele cu cristale de cuarț. Cristalul de cuarț, care constituie traductorul de temperatură, este așezat într-o carcasă de mărimea unei mici capsule de tranzistor, care se montează în locul de măsurare. Cristalele de cuarț folosite au un coeficient de temperatură care variază liniar (cu o abatere de ±0,05%) pentru un domeniu de temperatură situat în afara intervalului -40 ... + 230°C. Cristalul de cuarț împreună cu ansamblul de măsurare formează un circuit oscilator la care frecvența oscilațiilor sînt funcție de temperatura cristalului de cuarț. In felul acesta, măsurarea temperaturii se reduce la măsurarea frecvenței. Deoarece la unele execuții cristalul de cuarț este astfel dimensionat, încît să se obțină o frecvență de 1000 Hz pentru 1°C, este posibilă obținerea unei mari precizii de măsurare la utilizarea acestui procedeu.

Schema de principiu a unui termometru digital, care utilizează în calitate de traductor de temperatură un cristal de

cuarț, este arătată în fig. 5.74.

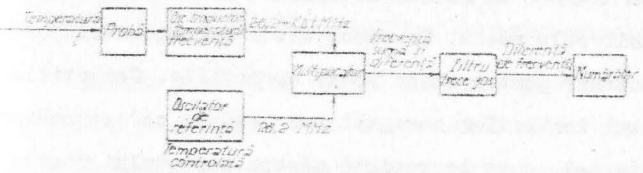


Fig. 5.74. Schema de principiu a unui termometru digital cu cristal de cuarț.

Pentru această schemă variația frecvenței se aplică unui calculator electronic cu patru cifre [3] . Frecvența traductorului oscilator este de 28,2 MHz la 0°C ; la această valoare se menține frecvența traductorului oscilator de referință.

5.9. Aparate pentru măsurarea temperaturii corpurilor bazate pe radiația lor termică

5.9.1. Generalități

Aparatele pentru măsurarea temperaturii corpurilor bazate pe radiația lor termică permit determinarea fără contact, a acestei temperaturi. Aceste aparate utilizează legătura care există între temperatura unui corp și proprietățile radiației emise de către corpul respectiv (luminozitatea radiației, intensitatea, culoarea radiației totale).

Aceste aparate, care sînt denumite în mod obișnuit pirometre de radiație, se împart în trei grupe și anume : pirometre de radiație totală, monocromatice și de culoare.

Deoarece două corpuri diferite aflate la aceeași temperatură prezintă parametri diferiți pentru radiația termică emisă, la construirea acestor aparate s-a adoptat soluția etalonării lor în funcție de variația cu temperatura a radiației termice emisă

de corpul negru. Un astfel de aparat va indica alte "temperaturi" decît cele reale, în cazul altor corpuri decît cele negre, fiind necesare pentru acest motiv corecţiile. Corecţiile se fac cu ajutorul factorilor energetici de emisie corespunzători fiecărui material, care reprezintă măsura raportului dintre radiaţia emisă de diferite corpuri şi aceea emisă de corpul negru la aceeaşi temperatură. Uneori aceste corecţii rezolvă numai parţial problema, în sensul că factorii energetici de emisie sînt determinaţi în condiţiile standard care diferă obişnuit de condiţiile reale de măsurare. Pentru măsurări de precizie se determină factorii energetici de emisie pentru condiţiile reale în care se află corpul a cărui temperatură se determină.

5.9.2. Pirometrul de radiaţie totală

Această denumire derivă din faptul că aparatele respective folosesc pentru măsurarea temperaturii de radiaţie, întregul spectru al radiaţiei termice emisă de către corpuri.

Cu ajutorul acestor pirometre se măsoară temperatura de radiaţie, T_r , a corpului care are temperatura reală T . Temperatura de radiaţie este temperatura corpului negru, care are aceeaşi strălucire energetică totală cu aceea a corpului dat.

In conformitate cu legile lui Kirchhoff şi Stefan - Boltzmann şi a definiţiei temperaturii de radiaţie se obţine următoarea relaţie de legătură între temperatura reală, T , şi temperatura de radiaţie, T_r , a unui corp :

$$T = T_r \frac{1}{\sqrt[4]{\varepsilon_T}} \qquad (5.38)$$

Dacă se măsoară temperatura de radiaţie cu ajutorul unui pirometru de radiaţie totală şi dacă se cunoaşte valoa-

rea factorului energetic de emisie ε_T , se poate calcula cu această relaţie temperatura reală a corpului considerat.

Aceste pirometre pot fi folosite pentru măsurarea temperaturilor cuprinse între 600°C şi 2000°C. Cu ajutorul lor se pot măsura temperaturile ridicate din spaţii închise ca, de exemplu, focarele cazanelor de abur sau apă fierbinte, camerele de ardere ale turbinelor cu gaze etc.

Principiul de funcţionare este următorul : radiaţia termică emisă de corpul a cărui temperatură se măsoară acţionează asupra unui receptor ce poate fi un termocuplu, o fotodiodă sau fotocelulă, o termorezistenţă, un termistor sau un bimetal, prin intermediul unui sistem optic introdus pentru mărirea sensibilităţii. Sistemul optic se bazează fie pe principiul refracţiei (lentilă convergentă), fie pe principiul reflecţiei (oglindă concavă).

Ansamblul format de sistemul optic şi de receptor poartă numele de telescop.

Variaţia temperaturii telescopului conduce la erori dacă nu este prevăzut un sistem de compensare.

In fig. 5.75 se arată schema de principiu a unui pirometru de radiaţie totală. La această construcţie, termocuplul are forma lamelară şi este înnegrit. T.t.e.m. care ia naştere este măsura intensităţii radiaţiei şi deci a temperaturii. In cazul temperaturilor foarte ridicate, se intercalează în drumul razelor o sticlă absorbantă pentru protejarea ochilor.

Pirometrele de radiaţie totală prezintă o serie de avantaje dintre care amintim : măsurarea se face în mod obiectiv, nu necesită o sursă specială de curent şi permite transmiterea indicaţiei la distanţă şi înregistrarea mărimii măsurate.

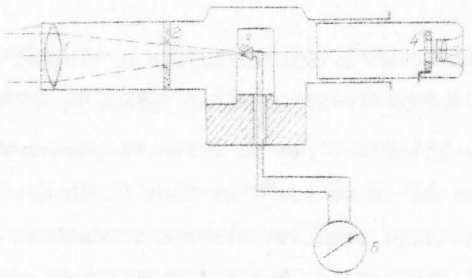


Fig. 5.75. Schema constructivă a unui pirometru de radiaţie totală.
1 - lentila obiectivului; 2 - diafragmă;
3 - termoelement; 4 - sticla absorbantă;
5 - lentila ocularului; 6 - aparat indicator.

Ca dezavantaj se menţionează faptul că măsurarea cu pirometrul de radiaţie totală se poate aplica numai în cazul corpurilor care prezintă o radiaţie aproape neagră. Totuşi, la temperaturi de peste 1000°C, eroarea care apare în cazul unei radiaţii cenuşii faţă de o radiaţie neagră este redusă.

5.9.3. Pirometre de radiaţie monocromatică

Aceste pirometre sînt utilizate pentru măsurarea temperaturii de strălucire.

După modul de măsurare a strălucirii monocromatice aceste pirometre se împart în : pirometre optice monocromatice cu dispariţia filamentului şi pirometre fotoelectrice monocromatice.

Relaţia de legătură între temperatura reală T şi de strălucire $T_{s,\lambda}$, pentru lungimea de undă λ , a unui corp evind factorul energetic monocromatic de emisie $\varepsilon_{\lambda T}$, pentru aceeaşi lungime de undă stabilită în baza legii lui Kirchoff, a formulei lui Wien şi a definiţiei temperaturii de strălucire este :

$$\frac{1}{T_{s,\lambda}} - \frac{1}{T} = \frac{\lambda}{C_2} \ln \frac{1}{\varepsilon_{\lambda T}} \qquad (5.39)$$

valoarea constantei C_2 fiind

$$C_2 = 1{,}438 \times 10^{-2} \text{ m.grd.}$$

Din această relaţie rezultă că temperatura de strălucire a corpului depinde de lungimea de undă. Această lungime de undă corespunde lungimii de undă la care se face comparaţia între strălucirile corpului negru şi a corpului real, adică lungimii de undă a pirometrului de radiaţie monocromatică. Cu ajutorul acestor pirometre se pot măsura temperaturi cuprinse între 700 şi 4000°C [1] , [5] .

5.9.3.1. Pirometrul optic monocromatic cu dispariţia filamentului

Deoarece la acest tip de aparat compararea strălucirilor monocromatice a două surse de radiaţii se face cu ajutorul sensibilităţii ochiului, pentru o precizie mai mare, se utilizează metoda aducerii ambelor suprafeţe la aceeaşi culoare (sensibilitatea ochiului omenesc faţă de radiaţii de lungimi de undă diferite nu este aceeaşi).

Principiul de funcţionare a pirometrului schematizat

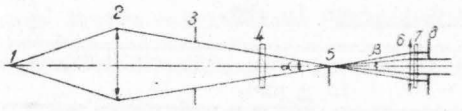


Fig. 5.76. Schema optică de principiu a pirometrului optic monocromatic cu dispariţia filamentului.

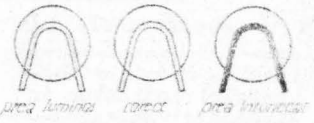


Fig. 5.77. Reglarea luminozităţii filamentului incandescent.

în fig. 5.76 este următorul : imaginea sursei 1 se formează cu ajutorul obiectivului 2, într-un plan 5, în care este aşezat fi-

lamentul în formă de potcoavă (fig. 5.77). Observatorul care privește prin ocularul 6 primește prin filtrul roșu 7 numai o parte, aproape monocromatică, din radiația emisă de corp și de filament, putînd distinge cele trei cazuri din fig. 5.77. Deoarece la temperaturi ridicate ale sursei curentul electric necesar filamentului ar fi prea mare, s-a introdus un filtru neutru, 4 , care reduce strălucirea imaginei sursei.

La aceste aparate, dispariția filamentului se obține prin varierea intensității curentului sau prin menținerea constantă a intensității curentului și a variarii intensității strălucirii sursei cu ajutorul unui disc din sticlă neutră de grosime variabilă (discul este gradat direct în grade).

Aceste pirometre prezintă avantajul că dau indicații rapide și exacte. Ca dezavantaje se menționează caracterul subiectiv al măsurării și imposibilitatea indicării la distanță sau a înregistrării.

In tabela 5.11 sînt trecute după normele germane, limitele maxime ale erorilor care apar în cadrul măsurării [5].

- Tabela 5.11 -

Limitele maxime ale erorilor, la măsurarea cu ajutorul pirometrului optic monocromatic cu dispariția filamentului, date în grd.

Limita erorilor aparatului indicator în procente din valoarea maximă a indicațiilor.	Limita maximă a erorilor de măsură, în ± grd.					
	Temperatura măsurată, în °C.					
	fără sticlă fumurie			cu sticlă fumurie		
	700	1000	1400	1400	1600	2000
0,7	±31	±12	± 7	±16	±18	±16
0,2	±10	± 4	± 3	± 5	± 7	± 7

5.9.3.2. Pirometrul fotoelectric monocromatic

Aceste pirometre dau indicații obiective deoarece elementul care compară strălucirea corpurilor este o celulă fotoelectrică, o fotodiodă sau un fotomultiplicator.

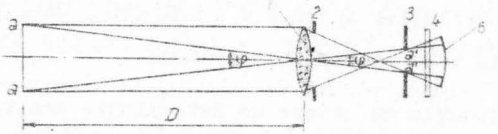


Fig. 5.78. Schema de principiu a pirometrului fotoelectric monocromatic.

La pirometrul fotoelectric monocromatic schematizat în fig. 5.78 imaginea corpului a, a se formează cu ajutorul obiectivului 1, în dreptul diafragmei 3, așezate în fața filtrului roșu 4 și a celulei fotoelectrice 5. In felul acesta, din radiația corpului a cărui temperatură trebuie măsurată, se extrage prin filtrare un domeniu de lungimi de undă mai îngust și prin concentrarea pe o celulă fotoelectrică, se creează posibilitatea măsurării intensității acestui domeniu de lungimi de undă filtrat, care reprezintă o funcție de temperatură.

Indicațiile acestui aparat vor fi independente de distanța dintre obiect și pirometru atîta timp cît imaginea a' a' va acoperi complet orificiul diafragmei 3 .

Procedeul de măsurare este fie direct, adică semnalul produs de celulă este proporțional sau funcție de temperatura corpului vizat (pentru aceasta celula trebuie să fie stabilă în timp și să aibă un amplificator corespunzător), fie prin metoda de zero cînd celula primește alternativ semnalul sursei și cel emis de o lampă etalon.

Pentru măsurări de precizie se impune analizarea surselor de erori și calcularea erorii totale [1] .

5.9.4. Pirometrul de culoare

Pirometria de culoare este bazată pe variația cu temperatură a distribuției spectrale a radiației termice emisă de corpul căruia i se măsoară temperatura.

In funcție de metoda de determinare aceste aparate se pot grupa în :

- pirometre bazate pe metoda comparării optice a strălucirilor;
- pirometre obiective cu celule fotosensibile.

5.9.4.1. Pirometre bazate pe metoda comparării optice a strălucirilor

In fig. 5.79 se arată schema de principiu a unui astfel de pirometru care poate măsura simultan temperatura de culoare[x]

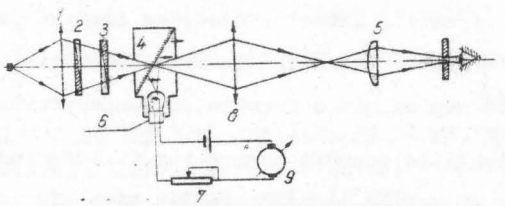


Fig.5.79. Schema de principiu a unei variante constructive de pirometru bazat pe metoda comparării optice a strălucirilor.

x Pentru temperatura de culoare sînt valabile mai multe definiții dintre care vom aminti numai următoarele două :
- Temperatura de culoare a unui corp cu temperatura reală T este temperatura corpului negru care are aceeași culoare cu a corpului incandescent dat;
- Temperatura de culoare mai poate fi definită ca fiind temperatura corpului negru care are aceeași distribuție spectrală relativă ca a corpului dat.

și de strălucire. La acest pirometru radiația corpului a cărui temperatură se măsoară străbate obiectivul 1,filtrul 2 de culoare, filtrul 3 din sticlă neutră,oglinda 4 din sticlă semitransparentă și ocularul 5 de unde se poate privi imaginea corpului. Perpendicular pe acest traseu optic este montată o lampă 6, de temperatură de comparație, cu filament din wolfram,ce este alimentată cu curent continuu constant în vederea aducerii la o anumită incandescență constantă a filamentului. Radiația filamentului, după ce se reflectă pe oglinda 4 urmează același drum cu radiația corpului. Pentru a face ca cele două fluxuri (unul provenind de la corpul ce se studiază și celălalt de la filamentul lămpii) să aibă aceeași distribuție spectrală, este necesar să se reducă intensitatea radiației emisă de corp în raporturi diferite pentru lungimile de undă corespunzătoare culorilor verde și roșu. In acest scop se folosesc filtrele 2 și 3, care deplasîndu-se antrenează două scări gradate, una corespunzătoare temperaturii de culoare și alta temperaturii de strălucire.

Cu ajutorul reostatului 7 se reglează curentul din filamentul lămpii în așa fel ca acul galvanometrului 9 să rămînă în dreptul unui anumit reper.

5.9.4.2. Pirometrul de culoare obiectiv

Acest tip de pirometru utilizează una sau două celule fotoelectrice pentru măsurarea strălucirilor radiațiilor, care corespund celor două lungimi de undă. Din acest motiv, acest pirometru este folosit în procese de reglare și înregistrare a temperaturii.

Astfel de pirometre au fost utilizate [1] pentru măsurarea temperaturii flăcării în camera de ardere de la motoarele cu ardere internă.

5.1o. Etalonarea şi verificarea termometrelor

In faţa experimentatorului se pune deseori problema confecţionării unor termocupluri, termorezistenţe, utilizării unor termistoare etc. adecvate locului unde se face măsurarea şi intervalului de temperaturi supus măsurării.

De asemenea şi pentru mijloacele de măsurare existente se impun verificări periodice.

Atît pentru etalonarea mijloacelor de măsurare a temperaturilor confecţionate după trebuinţă, aşa cum s-a arătat, cît şi pentru executarea verificărilor sînt necesare aparate şi instalaţii pentru realizarea punctelor fixe precum şi instalaţii pentru compararea indicaţiilor termometrelor [1] , [4] .

In continuare se prezintă cîteva aparate şi instalaţii utilizate pentru etalonări şi verificări de termometre.

5.1o.1. Punctul fix de topire a ghetii

Temperatura şi echilibru dintre gheaţă şi apa saturată cu aer este la presiunea normală (76o torr) de o,oo°C.

Pentru realizarea acestei temperaturi se amestecă gheaţă curată,răzuită (pisată) fin cu apă,formîndu-se un terci care se introduce într-un vas Dewar. Acest vas se astupă cu ajutorul unui dop din plută sau polistiren expandat prevăzut cu două orificii, dintre care unul pentru termometrul etalon de control al temperaturii şi celălalt pentru termometrul care se etalonează sau se verifică. Pentru a se putea goli surplusul de apă provenit din topirea gheţii sînt utilizate construcţii speciale de vase Dewar (fig.5.8e) prevăzute la partea inferioară cu un orificiu pentru fixarea robinetului de golire.

In vederea obţinerii unei reproductibilităţi mai bune a

Fig. 5.8e. Vas Dewar prevăzut cu robinet, pentru realizarea punctului fix de topire a gheţii.

punctului 0°C trebuie folosită gheaţa făcută din apă distilată,iar amestecul gheaţă - apă să se facă tot cu apă distilată.

In cazul unor măsurări de mare exactitate,cînd se cere şi un grad ridicat de reproductibilitate, se recomandă utilizarea punctului triplu al apei (0,o1°C) [1] , [2] .

5.1o.2. Punctul fix de fierbere a apei

Pentru realizarea acestui punct fix sînt posibile mai multe variante constructive dintre care una este arătată schematic în fig. 5.81. Aparatul este compus din vasul 1 din cupru, tubul 2 confecţionat de asemenea din cupru şi un burlan 3 concentric cu acesta prin care vaporii pot ieşi în atmosferă. Vasul în care fierbe apa (cu ajutorul unui bec Bunsen sau reşou electric) este închis la partea superioară cu o sită de sîrmă, 4, pentru evitarea aruncării în afară a picăturilor de apă. Termometrele sînt menţinute în interiorul tubului 2 cu ajutorul dopului de închidere din cauciuc. In timpul funcţionării, vaporii de apă trebuie să circule permanent şi nu este permis ca în tubul interior să apară o suprapresiune.

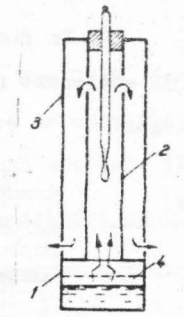


Fig.5.81. Schema unui aparat pentru realizarea punctului fix de fierbere a apei.

Temperatura de fierbere se poate calcula cu o eroare de maximum o,ol°C, cu relaţia [2] :

$$t = 100^{\circ}C + 0{,}0375\,(b - 760) \qquad (5.40)$$

în care b reprezintă valoarea presiunii barometrice după efectuarea corecţiilor, în mm Hg .

5.10.3. Obţinerea temperaturilor mai mari ca 100°C

Pentru obţinerea acestor temperaturi, literatura de specialitate [1] , [2] indică diverse procedee în funcţie de domeniul de temperaturi şi de scop.

Astfel, temperaturile pînă la 350°C se obţin cel mai bine cu ajutorul unor vase speciale prevăzute cu agitator în care se încălzeşte ulei cu o viscozitate mai mare folosit pentru motoarele cu ardere internă.

In fig. 5.82 sînt prezentate schemele a două instalaţii de etalonare pentru termometre, care se pot realiza destul de uşor.

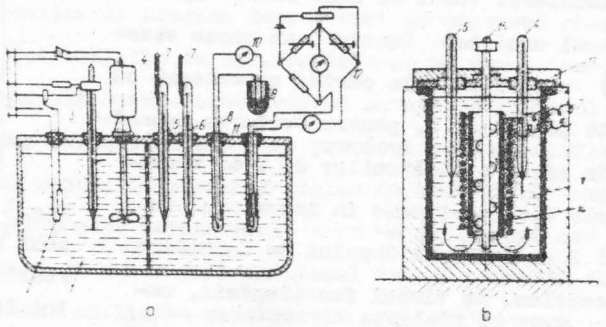


Fig. 5.82. Instalaţii de etalonare pentru termometre.
a - schiţa schemei pentru etalonarea aparatelor de măsurat temperatura ;
b - instalaţie auxiliară pentru verificarea termometrelor.
1 - baie de lichid; 2 - dispozitiv de încălzire electri-

că; 3 - termometru cu contacte; 4 - agitator; 5 - termometru etalon; 6 - termometru de etalonat; 7 - termometr pentru corecţia de coloană; 8 - termoelement; 9 - recipient cu bucăţi de gheaţă care se topesc; 10 - aparat indicator; 11 - termorezistenţă; 12 - schemă în punte; 13 - strat izolator; 14 - tub de porţelan; 15 - agitato

Este necesar ca pentru fiecare treaptă de temperatură ce se ia în consideraţie la etalonare sau verificare, să se ajungă la un regim staţionar.

Cu ajutorul aparatului de fierbere pentru sulf se poate obţine punctul fix de fierbere a sulfului (+444,60°C).

Pentru intervalul de temperaturi +220°C ... 630°C, se folosesc băile cu salpetru.

Amestecul dintre clorura de bariu şi clorura de natriu (raport 7 : 2) pot fi utilizate între 600°C şi 1400°C.

Pentru intervalul +150°C ... 800°C se pot folosi etuve electrice şi cuptoare.

Pentru temperaturi cuprinse între 800°C şi 1500°C şi chiar peste 1500°C, se pot folosi cuptoare de construcţie specială în funcţie de domeniul de temperatură necesar [2] .

5.10.4. Obţinerea temperaturilor mai mici ca 0°C

In mod simplu se pot obţine temperaturi cuprinse între 0 şi -50°C în frigidere pentru laborator.

Temperaturi mai mici ca 0°C se pot obţine şi cu ajutorul amestecurilor frigorigene (tabel 5.12).

Cu ajutorul zăpezii de acid carbonic (gheaţă uscată) amestecată cu eter etilic sau alcool etilic, se pot obţine temperaturi de -77°C respectiv -72°C.

Temperaturi şi mai scăzute pot fi obţinute prin introducerea aerului lichid într-o baie de pentan sau de eter de petr

care se află într-un vas Dewar.

Prin vaporizarea gazelor lichefiate sau sublimate se pot obține puncte fixe de ordinul 2 [2].

- Tabel 5.1

Amestecuri frigorigene pentru obținerea temperaturilor cuprinse între 0 și -65°C

Temperatura obținută °C.	Amestecul utilizat
1	2
-1,2	3,8% sulfat de natriu (Na_2SO_4) + 96,2% gheață
-3,8	4,5% sulfat de potasiu (K_2SO_4) + 8% nitrat de potasiu (KNO_3) + 87,5% gheață.
-3,9	19% sulfat de magneziu ($Mg\ SO_4$) + 81% gheață
-1o,5	32,2% sulfat de mangan + 67,8% gheață
-1o,9	19,3% clorură de potasiu (K Cl) + 1,1% sulfat de potasiu (K_2SO_4) + 79,6% gheață
-18,o	9,3% clorură de potasiu (K Cl) + 14,7 clorură de amoniu ($N\ H_4\ Cl$) + 76% gheață
-19,4	35,9% nitrat de sodiu ($Na\ NO_3$) + 6,2 nitrat de potasiu (KNO_3) + 57,9% gheață.
-21,2	22,4% clorură de sodiu (Na Cl) + 77,6% gheață
-22,1	11,6% clorură de amoniu ($NH_4\ Cl$) + 27% nitrat de amoniu (NH_4NO_3) + 61,4% gheață
-25,2	21,8% clorură de sodiu ($Na\ Cl.2H_2O$) + 2o,5% nitrat de sodiu ($Na\ NO_3$) + 57,7% gheață
-28	19% hidroxid de sodiu (Na OH) + 81% gheață
-33,6	21,6% clorură de magneziu ($Mg\ Cl_2$) + 78,4 gheață
-55	29,8% clorură de calciu $Ca\ Cl_2$ + 7o,2% gheață
-62	51% clorură de zinc ($Zn\ Cl_2$) + 49% gheață
-65	31,5% hidroxid de potasiu (KOH)+ 68,5% gheață

Aparatele utilizate pentru etalonarea și verificarea temperaturilor mai mici ca 0°C, sînt criostatele și termostatele de construcție specială.

Criostatele se deosebesc din punct de vedere constructiv în funcție de limita inferioară de temperatură pe care trebuie s-o asigure.

In fig. 5.83 este arătată schema unui criostat care se utilizează în domeniul de temperaturi -7o ... 0°C.

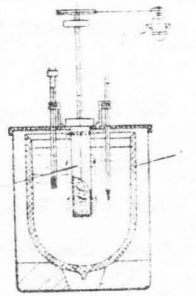


Fig. 5.83. Criostat
(-7o° ... 0°C)
1 - vas Dewar ;
2 - agitator ;
3 - motor electric.

Termostatele utilizate pentru astfel de temperaturi folosesc lichide speciale pentru baie. Astfel, de exemplu, pentru intervalul de temperaturi de la -6o°C pînă la +4o°C se folosește alcoolul metilic sau mai bine alcoolul etilic.

Capitolul 6

MASURAREA PRESIUNII SI A DIFERENTEI DE PRESIUNE

6.1. Presiunea. Unităţi de măsură

Definiţia întîlnită cel mai frecvent pentru presiune arată că, prin aceasta se înţelege o forţă, F , care acţionează în mod uniform asupra unei suprafeţe, A . Această definiţie formulată de mecanică, se poate exprima cu ajutorul relaţiei :

$$p = \frac{dF}{dA} \qquad (6.1)$$

Presiunea este o mărime neorientată (scalară) fiind complet determinată printr-un singur număr.

In hidraulică, pentru un lichid aflat în repaus, presiunea desemnează o proprietate locală. Astfel, făcînd abstracţie de presiunea atmosferică, presiunea într-un punct din interiorul unui volum de lichid este funcţie de coloana de lichid de deasupra acestui punct, măsurată pe direcţia verticală. Dacă se notează cu ρ, densitatea lichidului, cu g , acceleraţia gravitaţională şi cu h , înălţimea coloanei de lichid, presiunea definită de hidraulică se poate exprima prin relaţia :

$$p = \rho \cdot g \cdot h \qquad (6.2)$$

Teoria cinetică defineşte presiunea ca fiind energia cinetică moleculară în unitatea de volum :

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{K_E}{V} \qquad (6.3)$$

în care K_E este energia cinetică a moleculelor din volumul V .

In termodinamică, presiunea se poate defini plecînd, de exemplu, de la relaţia principiului I al termodinamicii scrisă pentru o transformare deschisă sub forma :

$$dq = du + p\,dV \qquad (6.4)$$

astfel :

$$p = \frac{dq - du}{dV} \qquad (6.5)$$

adică, presiunea ar fi diferenţa dintre variaţiile cantităţilor de căldură, dq , şi de energie internă, du , raportate la volumul masei în care au loc aceste variaţii.

In conformitate cu STAS-ul 737/7-69, s-a adoptat pentru presiune unitatea SI (sistemul internaţional de măsură), newton pe metru pătrat (N/m^2) care poartă şi numele de pascal.

Unităţile de măsură ale presiunii tolerate de STAS, pentru timp nelimitat, sînt : bar, atmosfera tehnică (at), milimetru coloană de mercur (mm Hg), milimetru coloană de apă (mm H_2O) , atmosfera fizică (atm), milibar (mbar).

Unităţile de măsură tolerate în acest STAS, pînă în jurul datei de 1.01.76, sînt: Kgf/mm^2, Kgf/cm^2 şi Kgf/m^2 .

In treminologia curentă se foloseşte de obicei denumirea torr în locul denumirii mm Hg .

$$1\ torr = 1{,}333224.10^2 N.m^{-2} = 1\ mm\ Hg\ .$$

Corespondenţa dintre atmosfera fizică, atmosfera tehnică şi torr este dată de egalităţile :

1 atm = 76o torr = 1,o33227 at ;

1 at = 735,559 torr .

6.2. Generalităţi privind măsurarea presiunii şi a diferenţei de presiune

In cazul măsurărilor, în general, nu interesează valoarea absolută a unei presiuni, măsurate faţă de presiunea absolută 0 (vid absolut), ci diferenţa acesteia faţă de o altă presiune. Această presiune de referinţă se consideră de obicei presiunea barometrică. In funcţie de valoarea presiunii ce se măsoară, care poate fi mai mare sau mai mică ca presiunea de referinţă, aparatul de măsură va indica suprapresiuni sau subpresiuni (fig.6.1.).

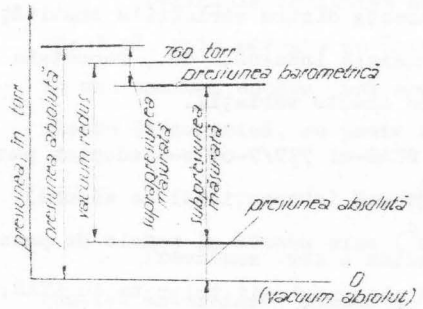


Fig. 6.1. Scara presiunilor.

In mod practic se utilizează denumirea de manometre pentru aparatele care măsoară presiuni mai mari ca presiunea atmosferică şi vacuummetre pentru acelea care măsoară presiuni mai mici ca cele atmosferice (cele mixte poartă denumirea de manovacuummetre).

Barometrul indică numai presiunea absolută.

In ceea ce priveşte subpresiunea, care se mai numeşte şi vacuum sau depresiune, se menţionează că poate fi exprimată în mai multe moduri. Astfel, subpresiunea poate fi dată direct în torr sau se poate raporta la indicaţia normală a barometrului de 76o torr. Pentru acest din urmă caz, la subpresiunea citită, se adaugă diferenţa 76o - p_b (unde p_b este presiunea barometrică). In acest mod se elimină variaţiile indicaţiei barometru-

lui; vacuumul exprimat astfel este denumit vacuum redus (fig.6.1).

Aparatele care măsoară valori până la 5oo mm H_2O sînt denumite micromanometre respectiv microvacuummetre şi micromanevacuummetre.

Aparatele utilizate pentru măsurarea diferenţelor a două presiuni sînt denumite manometre diferenţiale.

6.3. Alegerea aparatelor de măsurat

In vederea alegerii aparatului de măsurat presiunea, experimentatorul trebuie să stabilească presiunea nominală p_n a acestuia. Deoarece la majoritatea aparatelor de măsurat presiunea utilizate în tehnică, erorile de măsurare sînt raportate la limita superioară de măsurare a aparatului, deci au o valoare absolută constantă indiferent de mărimea presiunii măsurate, este recomandabil pentru obţinerea unei preciziii de măsurare cît mai bune, ca presiunea de lucru a aparatului să fie cît mai apropiată de presiunea nominală.

Pentru aparatele cu element elastic nu este admis, în general, utilizarea aparatului la limita superioară de măsurare. Astfel, pentru cazul presiunilor invariabile, cînd presiunea maximă de lucru (p_l), nu trebuie să depăşească 2/3 din presiunea nominală, presiunea nominală trebuie să satisfacă inegalitatea,

$$p_n \geqslant p_l + \frac{1}{3} p_l = \frac{4}{3} p_l$$

iar pentru cazul presiunilor variabile, cînd presiunea maximă, de lucru nu trebuie să depăşească 1/2 din presiunea nominală trebuie satisfăcută inegalitatea

$$p_n \geqslant p_l + \frac{1}{2} p_l = \frac{3}{2} p_l$$

Clasa de precizie a aparatului se stabileşte astfel, încît eroarea tolerată a aparatului să fie mai mică decît eroarea de măsurare impusă.

O atenţie deosebită va trebui acordată alegerii aparatului pentru măsurarea presiunilor diferenţiale în cazul măsurărilor de viteze sau debite. In acest scop se utilizează, în general, aparatele cu lichid.

La alegerea aparatului de măsurat trebuie ţinut seama şi de natura şi temperatura fluidului a cărui presiune se măsoară. Astfel, aparatele utilizate pentru măsurarea presiunii gazelor sînt prevăzute de obicei cu orificii pentru ieşirea gazului în cazul spargerii elementului sensibil, mai ales la cele pentru presiuni mari. De asemenea, manometrele ce se montează la instalaţiile frigorifice se vor alege corespunzător agentului frigorific.

Alţi factori de care trebuie să se ţină seama la alegerea aparatului de măsurat sînt : variaţiile presiunii, locul de măsurare, vibraţiile la locul de măsurare, posibilităţile de racordare, felul afişării rezultatului, necesitatea semnalizării unor limite de măsurare, distanţa între locul de măsurare şi de afişare a rezultatului etc.

La alegerea aparatelor de măsurat presiunea, trebuie să se ţină seama de valorile maxime ale domeniului de indicaţie al diferitelor aparate de măsurat (fig.6.2).

In scopuri de cercetare sau pentru unele măsurări efectuate la standurile de încercări pentru maşini din seria zero, se vor lua în consideraţie barometrele, manometrele cu tub U, cu tub înclinat şi micromanometrele, pentru presiunile mai mari manometrele de precizie şi manometrele etalon, iar pentru pre-

siunile variabile, indicatoare de diagrame.

Pentru cercetare se vor folosi aparatele din clasele de precizie 0,4 sau 0,6 [2] .

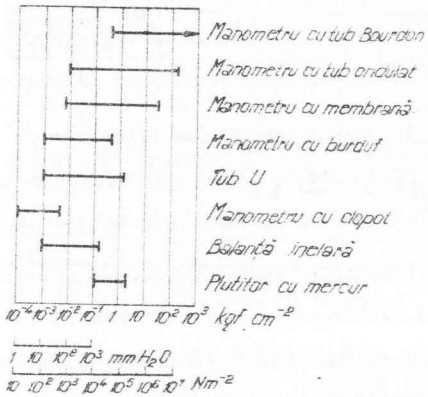


Fig. 6.2. Valorile maxime ale domeniului de indicaţie a diferitelor aparate de măsurat presiunea.

6.4. Clasificarea metodelor şi aparatelor pentru măsurarea presiunilor

In fig. 6.3. este prezentată sistematizarea metodelor de măsurare a presiunii [2] .

In cadrul acestei sistematizări, gruparea s-a făcut în funcţie de modificarea proprietăţilor fizice sesizabile. Deoarece indicatoarele de presiune prezintă un interes deosebit pentru studiul experimental al maşinilor termice şi pentru că măsurarea presiunii cu aceste aparate este legată de măsurarea unei deplasări, ele s-au grupat separat şi vor fi tratate de asemenea separat în cadrul acestui capitol.

După principiul de funcţionare şi după destinaţie (cazul vacuumetrelor), aparatele de măsurat presiunea (cu excepţia indicatoarelor), se pot grupa în :

- aparate cu lichid ;
- aparate cu element elastic ;

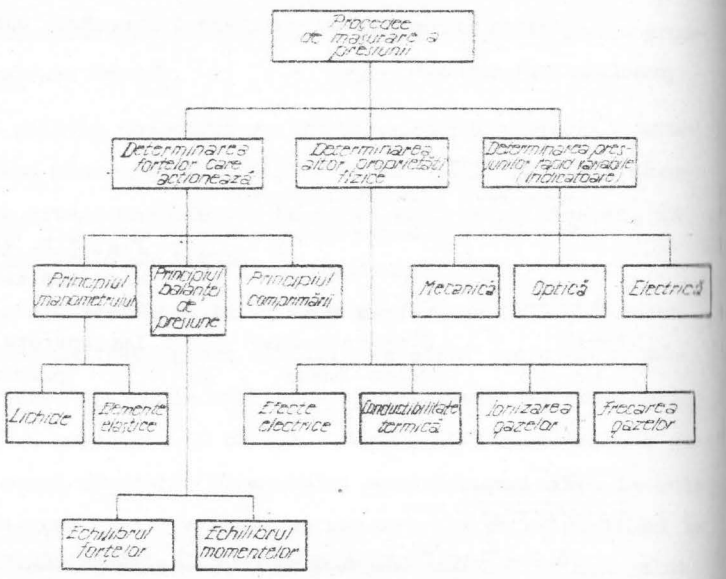


Fig. 6.3. Sistematizarea metodelor de măsurare a presiunii.

- aparate combinate ;
- aparate cu piston şi greutăţi ;
- aparate cu traductoare electrice şi pneumatice ;
- vacuummetre de presiune absolută (joasă).

6.5. Aparate cu lichid

Acestea sînt primele aparate utilizate pentru măsurarea presiunilor. Robert Boyle a utilizat încă din anul 1662 manometrul în formă de tub U , pentru determinarea precisă a presiunii lichidului.

Funcţionarea lor se bazează pe legea fundamentală a hidrostaticii ; presiunea de măsurat se compară cu ajutorul presiunii hidrostatice creată de coloana de lichid manometric. Din acest motiv aceste aparate sînt folosite uneori pentru ve-

producerea unităţii de presiune.

Aceste aparate sînt simple, au precizie ridicată şi preţ de cost redus pentru majoritatea aparatelor utilizate în prezent.

Inconvenientele lor sînt : domeniul restrîns de funcţionare, manipularea este dificilă şi necesită timp şi uneori calcule pentru măsurarea propriu-zisă.

Pentru măsurarea presiunilor sau diferenţelor de presiuni mici sînt cele mai indicate. Pentru anumite domenii de măsurare se pot utiliza în calitate de aparate etalon.

Limita maximă a presiunii măsurate cu aceste aparate este în mod obişnuit 1,5 kgf/cm^2 (0,15 MN/m^2) iar pentru construcţiile speciale 3 kgf/cm^2 (0,3 MN/m^2).

Aparatele cu lichid se utilizează la maşinile şi instalaţiile termice pentru măsurarea presiunilor pe conducte şi în recipienţi, pentru măsurarea presiunilor diferenţiale, în cazul determinării debitelor, pentru măsurarea tirajului pentru măsurarea căderilor de presiune la trecerea fluidelor prin conducte,canale şi orificii,pentru determinarea cîmpului de presiuni la paletele de turbine şi compresoare introduse în tunelurile aerodinamice etc.

Ele se împart în : aparate cu tub U , micromanometre, aparate cu două lichide şi barometre cu mercur.

6.5.1. Aparate cu tub U

Aceste aparate se construiesc în mod obişnuit din sticlă, au forma de U şi sînt umplute cu un lichid adecvat (fig.6.4). Lichidele utilizate cel mai des sînt apa şi mercurul.

La unele măsurări de precizie se foloseşte deseori, eterul, alcoolul etilic, toluenul, deoarece udă mai bine pereţii tubului, diferite uleiuri (în caz de pericol de îngheţare sau va-

porizare) sau gaz lampant. Pentru măsurarea vidului, se obţin rezultate bune, dacă se foloseşc soluţia apoasă de ftalat de butil şi uleiurile siliconice, datorită presiunii de vapori foarte redusă a acestora.

Pentru schema de măsurare, în cazul cel mai general (fig.6.4) la echilibru se poate scrie :

$$p_A + \rho_A g(h_A + h_B + \Delta h_1) = p_B + \rho_B g \cdot h_B + \rho_L g \cdot \Delta h_1$$

de unde rezultă relaţia :

$$p_A - p_B = \rho_L g \left\{ 1 + \frac{\rho_B h_B}{\rho_L \Delta h_1} - \frac{\rho_A}{\rho_L} \left[\left(h_A + h_B \right) / \Delta h_1 + 1 \right] \right\} \Delta h_1 = \rho_L g \cdot C_h \cdot \Delta h_1 \qquad (6.6)$$

în care notaţiile au semnificaţia din figură (densităţile se presupun corectate în raport cu temperatura şi gravitatea locală), g este acceleraţia gravitaţională, iar C_h este factorul de corecţie hidraulic definit de relaţia :

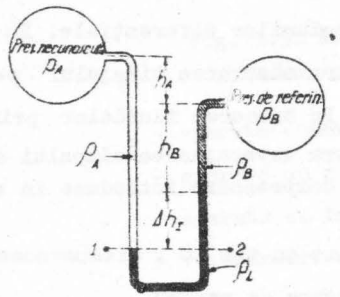


Fig.6.4. Schema de măsurare cu tub U .

$$C_h = \left\{ 1 + \frac{\rho_B}{\rho_L} \cdot \frac{h_B}{\Delta h_1} - \frac{\rho_A}{\rho_L} \left[\left(\frac{h_A + h_B}{\Delta h_1} \right) + 1 \right] \right\} \qquad (6.7)$$

Pentru majoritatea cazurilor $\rho_A = \rho_B$ şi dacă se consideră şi $h_A = 0$ rezultă $C_h = 1 - \rho_A / \rho_L$. Dacă se presupune că deasupra lichidului manometric se află aer sau un alt gaz de densitate apropiată de aceea a aerului raportul ρ_A / ρ_L devine e,co12e în cazul folosirii apei cu lichid manometric şi e,eoe88 în cazul folosirii mercurului ca lichid manometric şi deci se poate considera pentru aceste cazuri $C_h \approx 1$ astfel încît :

$$p_A - p_B = \rho_L \cdot g \cdot \Delta h_1 \qquad (6.8)$$

Dacă deasupra lichidului manometric se adună condens, cum se întîmplă uneori la măsurarea, de exemplu, a presiunii aburului pe o conductă de joasă presiune sau un alt lichid (ulei combustibil etc), nemiscibil cu lichidul manometric, este necesară efectuarea corecţiei cu ajutorul factorului C_h .

La măsurările executate cu aceste aparate se obişnuieşte deseori să se exprime presiunea măsurată în unităţi de coloană de lichid. Astfel, relaţia (6.8) se poate exprima şi sub forma :

$$\Delta p = p_A - p_B = \Delta h_1 \quad \text{mm coloană lichid}$$

In afara factorului C_h, se introduce uneori în calcule şi factorul de corecţie pentru capilaritate, C_c .

Este cunoscut faptul că mărimea suprafeţei între două lichide în repaus depinde de densitatea lor relativă şi de forţele de coeziune şi adeziune între lichide şi pereţii interiori. Astfel, pentru combinaţia apă - aer - sticlă, suprafaţa lichidului (meniscul) este concavă iar apa în tub va fi ridicată datorită unei acţiuni capilare (domină forţele adezive). Pentru combinaţia mercur - aer - sticlă domină forţele de coeziune, meniscul mercurului este convex, iar nivelul mercurului în tub scade datorită unei acţiuni capilare (fig.6.5).

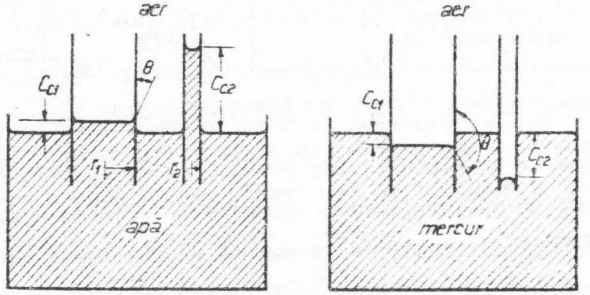


Fig. 6.5. Efectul capilar pentru apă şi mercur.

Corecţia pentru capilaritate se poate calcula cu ajutorul relaţiei :

$$C_c = \frac{2.\cos\theta_L}{\rho_L \cdot g}\left(\frac{a_{A-L}}{r_A} - \frac{a_{B-L}}{r_B}\right) \qquad (6.9)$$

în care : θ_L este unghiul de contact între lichidul manometric şi sticlă;

a_{A-L} şi a_{B-L} sînt coeficienţii de tensiune superficială pentru lichidul manometric în raport cu fluidul A şi respectiv B ;

r_A şi r_B sînt razele tubului manometric care conţine fluidul A şi respectiv B .

In tabela 6.1 sînt trecute valorile tipice care intervin în calculele coeficientului C_c [1] .

- Tabela 6.1. -

Efectele capilarităţii

Combinaţia	Tensiunea superficială a , dyne/cm	Unghiul de contact θ, grade
mercur-vacuum-sticlă	480	140
mercur-aer-sticlă	470	140
mercur-apă-sticlă	380	140
apă-aer-sticlă	73	0

In fig. 6.6 sînt prezentate curbele de variaţie a ascensiunii capilare în funcţie de diametrul interior al tubului, pentru cîteva lichide manometrice. Pentru a se reduce efectul capilarităţii, se recomandă ca diametrul tubului să fie de minimum 5 mm.

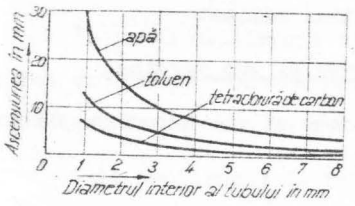


Fig. 6.6. Variaţia ascensiunii capilare a lichidelor manometrice în funcţie de diametrul tubului.

Dacă se iau în consideraţie, aşa cum s-a arătat, coeficienţii de corecţie, hidraulic şi al capilarităţii, diferenţa de nivel echivalentă care trebuie introdusă în calcule este:

$$\Delta h_e = C_h \cdot \Delta h_1 \pm C_c \qquad (6.10)$$

In felul acesta, diferenţa de presiune este dată de relaţia :

$$\Delta p = p_A - p_B = \rho_L \cdot g \cdot \Delta h_e \qquad (6.11)$$

Dacă în ambele ramuri ale tubului U se află aceleaşi fluide deasupra lichidului manometric şi în cazul în care diametrele sînt aceleaşi, efectul capilarităţii se anulează.

Meniscul avînd o formă curbă, reperarea nivelului lichidului în timpul citirii se face în dreptul orizontalei tangente la vîrful meniscului (fig.6.7). Pentru evitarea erorii de paralaxă în timpul citirii este necesar ca raza vizuală să fie orizontală, tangentă la menisc şi perpendiculară pe axa tubului şi a scării.

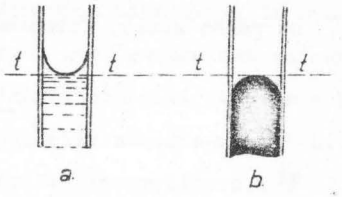


Fig. 6.7. Citirea nivelului la aparatele cu lichid.

Deoarece tuburile nu sînt perfect calibrate, se recomandă la măsurările de precizie efectuarea citirilor nivelului pentru ambele braţe, chiar dacă în poziţia iniţială nivelul este stabilizat la reperul zero.

Erorile maxime ale manometrelor cu tub U sînt de

cca ±0,5% din valoarea indicației maxime.

6.5.2. Aparate cu rezervor și tub vertical

Aceste aparate se întîlnesc și sub denumirea de manometru cu un singur braț.

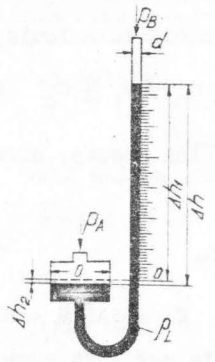


Fig. 6.8. Schema manometrului cu rezervor și tub vertical.

Datorită diferenței mari dintre diametrele interioare ale rezervorului și tubului, nivelul lichidului va varia foarte puțin în rezervor în timpul măsurărilor, fiind suficientă o singură citire pentru stabilirea valorii presiunii.

Dacă se notează raportul suprafețelor transversale ale rezervorului și tubului cu :

$$i = \frac{A_1}{A_2} \qquad (6.12)$$

se poate scrie, folosind notațiile din fig. 6.8:

$$\frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} = i \qquad (6.13)$$

și

$$\Delta h = \Delta h_1 \left(1 + \frac{1}{i}\right) = f . \Delta h_1 \qquad (6.14)$$

Factorul

$$f = 1 + \frac{1}{i} \qquad (6.15)$$

reprezintă eroarea de citire care trebuie luată în considerare.

Diferența de presiune măsurată se calculează cu ajutorul relației cunoscute :

$$\Delta p = p_A - p_B = \rho_L \, g . f . \Delta h_1 \qquad (6.16)$$

Există și construcții de astfel de aparate, la care eroa-

rea de citire, f , se elimină cu ajutorul unei scări reduse.

In cazul utilizării unui astfel de aparat ca vacuummetru spațiul cu vacuumul de măsurat se racordează la tub,iar rezervorul se lasă în contact cu presiunea atmosferică.

Cele menționate la tubul U referitor la introducerea coeficienților de corecție , C_h și C_c , sînt valabile și în acest caz.

De asemenea, trebuie menționat că la acest aparat se introduc unele erori sistematice și datorită neconstanței diametrelor rezervorului și mai ales a tubului pe lungimea lor de lucru.

6.5.3. Micromanometre

Aceste aparate se utilizează pentru măsurarea presiunilor (suprapresiuni sau depresiuni), sau diferențelor de presiune mici, de ordinul milimetrilor și chiar zecimilor de milimetri coloană de lichid,ca de exemplu, la măsurarea tirajului, în tehnica ventilației, la măsurarea debitelor de gaz (pentru determinare presiunii diferențiale) pentru determinarea cîmpului de viteze la încercarea profilelor de palete în tunelurile aerodinamice etc. Ele pot fi utilizate și pentru etalonare în intervalul 0,005 500 mm H_2O.

In prezent există mai multe construcții de micromanometre dintre care amintim : cu rezervor și tub înclinat (cel mai des utilizat), tip Prandtl, tip micrometric și cu aer.

6.5.3.1. Micromanometrul cu rezervor și tub înclinat

Particularitatea constructivă a acestor aparate, în raport cu manometrele cu rezervor și tub vertical,constă în înclinarea tubului (fig.6.9) cu un anumit unghi α față de orizontală.

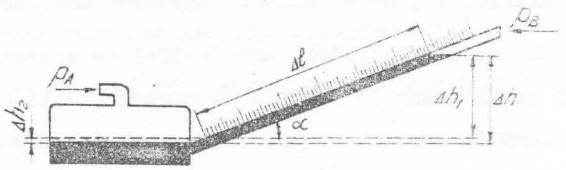


Fig. 6.9. Schema aparatului cu rezervor şi tub înclinat

In felul acesta, pentru o diferenţă de nivel Δh cauzată de suprapresiunea p_A , coloana de lichid se deplasează în tub pe o distanţă Δl, astfel încît se poate scrie relaţia :

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 = \Delta l \cdot \sin\alpha + \Delta h_2 \qquad (6.17)$$

sau ţinînd seama că relaţiile (6.13) şi (6.14) sînt valabile şi în acest caz, se va obţine :

$$\Delta h = \Delta l \cdot \left(\sin\alpha + \frac{A_2}{A_1}\right) \qquad (6.18)$$

şi

$$\Delta p = \rho_L \, g \, \Delta h = \rho_L \, g \, \Delta l \cdot \left(\sin\alpha + \frac{A_2}{A_1}\right) \qquad (6.19)$$

Prin variarea unghiului de înclinare α se poate modifica sensibilitatea acestui aparat.

Domeniul de măsurare al acestui aparat se întinde pînă la 150 mm H_2O , precizia de măsurare fiind cuprinsă între 0,5 şi 1% .

La experimentarea profilelor de palete în interiorul tunelurilor aerodinamice se utilizează frecvent multimicromanometre constituite dintr-un număr n de tuburi paralele, fixate pe o placă suport înclinabilă cu un unghi α . Aceste tuburi sînt legate în paralel la acelaşi rezervor.

6.5.3.2. Micromanometrul tip Prandtl

La acest tip de aparat erorile datorită capilarităţii şi citirii nivelului meniscului sînt reduse la minimum prin readucerea nivelului meniscului în poziţia iniţială (fig.6.1o). Readucerea nivelului meniscului în poziţia iniţială se reali-

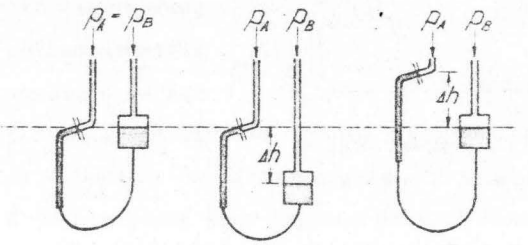


Fig. 6.1o. Diferite poziţii a micromanometrului tip Prandtl (iniţială şi în timpul măsurării).

zează prin deplasarea rezervorului, cu ajutorul unui şurub de acţionare, pe direcţie verticală, pînă cînd suprafaţa meniscului ajunge în dreptul a două repere inscripţionate pe tubul înclinat. Deplasarea lichidului micromanometric (Δh) corespunzător diferenţei de presiune aplicată este citită la cadranul gradat al şurubului de acţionare.

Acest aparat este acceptat şi ca etalon, calibrarea putîndu-se efectua cu o eroare de maximum 0,025 mm H_2O .

6.5.3.3. Micromanometrul tip micrometric

O altă construcţie de micromanometru care minimalizează efectul capilarităţii şi citirii meniscului de lichid se prezintă în fig. 6.11. La aceste aparate nivelul lichidului în cele două rezervoare se măsoară în partea centrală cu ajutorul unor suruburi micrometrice. Stabilirea contactului dintre vîrful in-

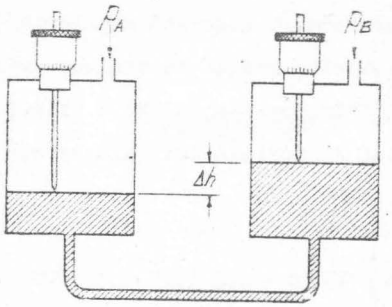


Fig. 6.11. Schema micromanometrului tip micrometric.

dicatorului de nivel şi suprafaţa de lichid se pune în evidenţă vizual sau, la unele tipuri, prin contact electric. Şi acest aparat poate servi ca etalon, calibrarea putînd fi efectuată cu o eroarea maximă de o,o25 mm H_2O.

6.5.3.4. Micromanometrul cu aer

Construcţia acestui tip de micromanometru este relativ recentă [1] . Datorită faptului că acest aparat utilizează aerul în calitate de fluid micromanometric sînt înlăturate complet efectele capilarităţii şi ale citirii nivelului menisculuí.

La acest aparat (fig. 6.12) presiunea de referinţă este

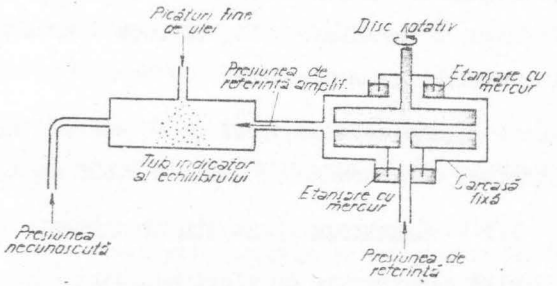


Fig. 6.12. Schema micromanometrului centrifugal, cu aer.

amplificată mecanic de acţiunea forţei centrifugale create de un disc în mişcare de rotaţie. Turaţia discului este reglată pînă cînd presiunea necunoscută este echilibrată de către pre-

siunea de referinţă amplificată. Poziţia nulă (echilibrarea presiunilor) este evidenţiată prin lipsa de mişcare a picăturilor de ulei împrăştiate în tubul indicator din sticlă.

Diferenţa dintre presiunea necunoscută şi presiunea de referinţă neamplificată, care se măsoară cu acest aparat, este dată de relaţia :

$$\Delta p = K . \rho . n^2 \qquad (6.2o)$$

în care ρ - este densitatea aerului de referinţă ;
n - turaţia discului ;
K - constantă care depinde de raza discului şi stratul inelar dintre disc şi corp.

Cu ajutorul acestui aparat se pot măsura diferenţe de presiuni mici de ordinul o,oo5 mm H_2O cu o precizie de 1%.

6.5.4. Aparate cu două lichide

In principiu, un astfel de aparat este format dintr-un tub U prevăzut cu două rezervoare la extremităţile braţelor în care se introduc două lichide în aşa fel, încît lichidul cu greutatea specifică mai mică să fie situat deasupra celui cu greutate specifică mai mare (fig.6.13).

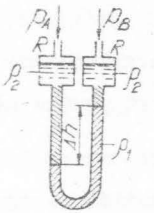


Fig. 6.13. Schema aparatului de măsurat presiunea cu două lichide.

In conformitate cu notaţiile din figură şi în ipoteza $p_A > p_B$ se poate scrie condiţia de echilibru (dacă se neglijează denivelarea din rezervoare):

$$p_A + \rho_2 \cdot g \cdot \Delta h = p_B + \rho_1 \cdot g \cdot \Delta h$$

de unde rezultă relaţia :

$$p_A - p_B = \Delta h . g (\rho_1 - \rho_2) \qquad (6.21)$$

Din această relație se observă că, diferența densităților este determinantă în ceea ce privește denivelarea Δh creată pentru o anumită valoare $\Delta p = p_A - p_B$ dată, sensibilitatea fiind cu atît mai mare cu cît această diferență $\rho_1 - \rho_2$ este mai mică.

Lichidele manometrice în combinație cu apa, folosite în practică, la aceste aparate sînt : petrolul lampant (ρ =0,860 g/cm^3), benzina (ρ =0,720 g/cm^3), nitrobenzen (ρ =1,203 g/cm^3), cloroform (ρ =1,489 g/cm^3), tetraclorură de carbon (ρ =1,594 g/cm^3).

La alegerea lichidelor, trebuie să se aibă în vedere ca mediul a cărei presiune se măsoară, să nu intre în combinație chimică cu acestea sau să formeze un amestec cu lichidul superior.

Dacă măsurarea se efectuează asupra unor lichide, între lichidul de lucru și cel de închidere fiind necesar unul de protecție, ia naștere un manometru cu trei lichide.

In cazul în care raportul A_2/A_1 dintre secțiunile tubului și rezervorului nu este neglijabil, relația (6.21) trebuie corectată astfel :

$$p_A - p_B = \Delta h \cdot (\rho_1 - \rho_2 + \frac{A_2}{A_1} \cdot \rho_2) \cdot g \qquad (6.22)$$

6.5.5. Barometrul cu mercur

Barometrul cu mercur se bazează pe experiența lui Torricelli și este cel mai vechi aparat utilizat pentru măsurarea presiunii atmosferice.

Principiul funcțional se bazează pe echilibrul care se stabilește între coloana de mercur dintr-un tub vertical cufundat cu capătul deschis în mercur și presiunea atmosferică, atunci cînd deasupra meniscului din tub este vid.

Aceste aparate se construiesc cu rezervor sau cu sifon (fig. 6.14) .

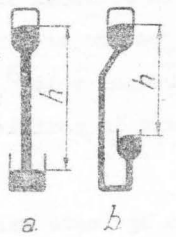


Fig. 6.14. Barometre:
a. cu rezervor ;
b. cu sifon.

La barometrele cu rezervor, punctul de nul poate fi fixat prin deplasarea scalei aparatului sau prin deplasarea fundului mobil al rezervorului (obișnuit din piele) cu ajutorul unui șurub de reglare.

La barometrele cu sifon, punctul de nul se poate regla numai prin deplasarea scalei aparatului.

Sînt și construcții de barometre cu mercur la care toate elementele (tubul, rezervorul și scala gradată) sînt fixe. La aceste construcții se utilizează o scală gradată redusă unde diviziunile sînt mai mici de 1 mm pentru a se ține seama de variația nivelului mercurului în rezervor. Citirea indicațiilor la aceste barometre se face cu un vizor cu vernier, care se deplasează pe verticală. In carcasa lor se montează și un termometru. Ele se întîlnesc cel mai frecvent în laboratoarele de cercetări.

Cele menționate privind cauzele erorilor de măsurare la aparatele cu lichid, în general, sînt valabile și la barometrele cu mercur.

Pentru evitarea sau micșorarea erorilor de măsurare este necesar ca în afara unor măsuri de ordin constructiv ca : constanța diametrului interior pe lungimea de lucru și o valoare a diametrului interior mai mare cu 1o mm, să se respecte în timpul exploatării următoarele prescripții : păstrarea tubului și mercurului în stare curată prin evitarea pătrunderii

impurităţilor prin orificiile de comunicare cu atmosfera, evitarea pătrunderii aerului deasupra nivelului mercurului din tub, cînd se aşează în poziţie orizontală aparatul în cutie sau la readucerea în poziţie verticală, pentru ca vidul de deasupra mercurului din tub să fie de ordinul a 10^{-3} mm Hg şi în timpul citirilor aparatul să fie aşezat în poziţie riguros verticală.

Avînd în vedere că 1 torr = 1 mm Hg este valabil numai pentru $0^{\circ}C$, iar coloana de mercur se comportă ca un termometru cu mercur, valoarea citită pentru presiunea atmosferică trebuie să fie corectată.

Astfel, dacă un barometru este etalonat la temperatura de $0^{\circ}C$, între înălţimea redusă a coloanei acestuia, p_0, la o temperatură t şi înălţimea citită a coloanei, p_b, este valabilă relaţia :

$$p_0 = p_b \left[1 - (\alpha_{Hg} - \alpha_M)\, t\right] \qquad (6.23)$$

în care α_{Hg} = 0,00182 grd^{-1} este coeficientul de dilataţie termică a mercurului şi

α_M - coeficientul de dilatare termică a scalei aparatului (ex.pentru alamă α_M = 0,000019 grd^{-1} şi pentru oţel α_M = 0,00002 grd^{-1}).

6.5.6. Aparate cu lichid echipate cu servomecanisme

Deşi, în general, citirea nivelului de lichid se face vizual de către operator, au fost concepute şi servomecanisme care urmăresc deplasarea coloanei de lichid şi transmit un semnal mecanic sau electric, proporţional cu presiunea. Astfel de construcţii fac posibilă utilizarea acestor manometre pentru măsurarea unor presiuni variabile cu o viteză care depă-

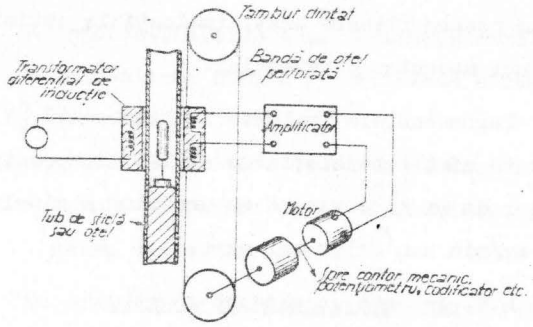


Fig. 6.15. Schema unui servomecanism ce echipează un aparat cu lichid.

şeşte posibilitatea de citire a operatorului şi reduc erorile subiective. De asemenea, utilizarea lor permite efectuarea automată a corecţiilor de temperatură. La aceste aparate traductorul de nivel comportă fie o sursă luminoasă şi o fotocelulă, fie un transformator diferenţial. Transformatorul diferenţial prezintă avantajul utilizării aparatului şi la presiuni ridicate de lucru, tubul de sticlă fiind înlocuit cu tub din oţel nemagnetic.

Schema de principiu a unui astfel de servomecanism, la care traductorul nivelului de lichid este un transformator diferenţial, se prezintă în fig. 6.15. Miezul transformatorului diferenţial este solidarizat cu un mic plutitor, care urmăreşte variaţiile nivelului. Cînd miezul se deplasează, variază inducţia în bobinaj şi o tensiune proporţională se aplică amplificatorului (şi astfel motorului). In felul acesta, inducţia variază în funcţie de deplasarea miezului, adică urmăreşte nivelul lichidului din tub. Rotaţia motorului este proporţională cu presiunea, citirea indicaţiilor putîndu-se efectua în mai multe moduri. La aparatele cu tub U se prevede cîte un servo-

mecanism pentru fiecare braţ, indicaţiile obţinîndu-se cu ajutorul unui mecanism diferenţial.

Performanţele indicate în literatură [4] pentru astfel de aparate sînt : rezoluţia de o,ol25 mm, precizia de ordinul sutimilor de mm şi o viteză de urmărire a nivelului de lichid de 25o mm/min sau chiar mai mare.

6.6. Aparate cu element elastic

In prezent, aceste aparate sînt cele mai răspîndite în procesele de măsurare ale presiunii. Ele pot fi utilizate funcţie de tipul constructiv în calitate de manometre, vacuummetre,manovacuummetre,manometre diferenţiale şi barometre. Aceste aparate se întîlnesc în mod curent în instalaţiile de cazane, turbine, compresoare, instalaţiile frigorifice etc., atît în timpul probelor funcţionale cît şi în timpul exploatării.

Primul element elastic a fost introdus de Eugéne Bourdon în anul 1849 şi era constituit dintr-un tub de alamă cu două spire, cu secţiune eliptică.

La aceste aparate se întîlneşte un fenomen de deformaţie remanentă numit histerezis. Incercările de laborator au arătat că dacă se respectă prescripţiile indicate de constructor privind limita maximă a presiunii de măsurat care trebuie să fie inferioară limitei de proporţionalitate, deformarea se anulează complet, în majoritatea cazurilor,după 24 ore.

Aceste aparate prezintă următoarele avantaje :

- domeniu de măsurare foarte extins de la 1 torr la cca. lo.ooo at ;
- sînt mai robuste ca aparatele cu lichid ;

- construcţie simplă şi ieftină(pentru cele indicatoare) ;
- manipularea simplă şi obţinerea directă a rezultatului măsurării ;
- precizie satisfăcătoare în diverse măsurări cu caracter tehnic şi pentru unele măsurări de laborator (la utilizarea aparatelor etalon).

Se construiesc în prezent aparate cu element elastic pentru clase de precizie de la o,1 la 6 (o,1; o,16; o,25; o,4; o,5; o,6; 1 ; 1,6; 2; 2,5; 4 şi 6).La noi în ţară aparatele de clasa o,1 la o,6 inclusiv sînt trecute în cadrul aparatelor etalon. Evident că, pentru unele măsurări care comportă precizii ridicate, se vor utiliza şi aparate etalon.

In funcţie de forma elementului elastic aceste aparate se subdivid în : aparate cu tub (tub Bourdon), aparate cu membrană, aparate cu capsulă şi aparate cu burduf.

6.6.1. Aparate cu tub

In calitate de element sensibil pentru astfel de aparate se utilizează tuburi metalice (din alamă, bronz, aliaj cupru-beriliu şi pentru presiuni ridicate sau medii agresive,din oţel) de diverse forme ca : arc de cerc, spirală, bară răsucită şi elice (fig.6.16) .

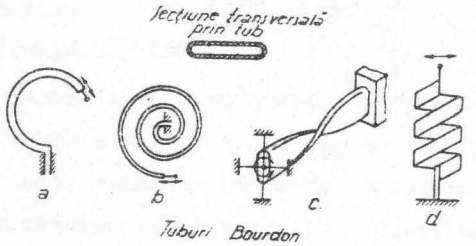


Fig. 6.16. Diferite forme de tuburi utilizate ca element elastic. a - arc de cerc; b - spirală; c - bară răsucită; d - elice .

In fig. 6.17 se arată cîteva profiluri utilizate pentru tuburi.

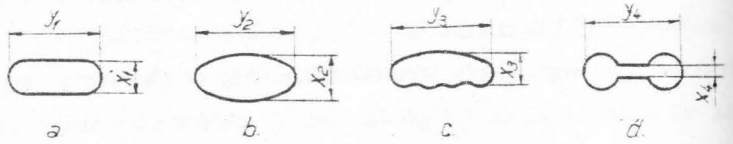


Fig. 6.17. Profiluri de tuburi utilizate la aparate. a - plat oval; b - oval ascuţit ; c - oval ondulat; d - profil pentru presiuni ridicate.

Funcţionarea aparatului (fig.6.18) se bazează pe deformarea tubului sub acţiunea suprapresiunii, care conduce la o cursă de 4÷6 mm, la capătul liber al tubului, 1. Deplasarea este transmisă cu ajutorul unei culise, 2, cu punct de fixare reglabil şi printr-un sistem de angrenare, 3, la un ac indicator, 4, sau la o peniţă.

Aceste aparate pot fi folosite pentru măsurări în domeniul - 1 at ... 3oo at, dacă elementul elastic este în formă de arc de cerc, şi pînă la 25oo at. dacă elementul elastic este sub formă de spirală.

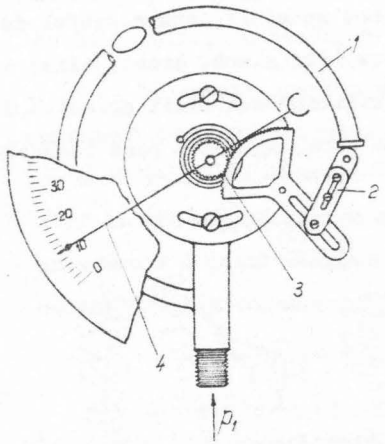


Fig. 6.18. Schema constructivă a aparatului cu tub Bourdon.

De asemenea, pentru presiuni mari (pînă la 5ooo at), se utilizează profile de egală rezistenţă sau pentru presiuni foarte înalte (5ooo at ... 1oooo at), elementul elastic se realizează din tuburi drepte găurite excentric.

Dezavantajele acestor aparate sînt : apariţia erorilor prin histerezis, variaţia cu temperatura a modulului de elasticitate al tubului şi sensibilitatea lor la şocuri şi vibraţii.

6.6.2. Aparate cu membrană

Elementul elastic la aceste aparate îl constituie membrana netedă sau ondulată fixată pe contur cu ajutorul flanşelor (fig. 6.19). Cu ajutorul acestor aparate se pot măsura presiuni manometrice între o şi 4o at, presiuni diferenţiale între o şi 16o mm H_2O şi presiuni absolute (construcţii speciale la care în spaţiul care mărgineşte una din feţele membranei este vid).

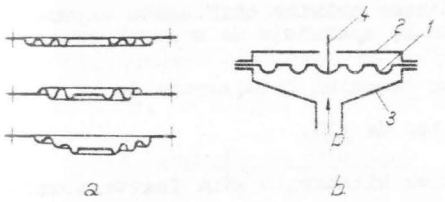


Fig. 6.19. Tipuri de membrane (a) şi schema de fixare a membranei (b). 1 - membrană ; 2,3 - flanşe; 4 - tijă legată de mecanismul de indicare.

Sînt insensibile la suprasolicitări, sau la vibraţii şi suportă cu succes variaţiile rapide de presiune. Se pot imagina construcţii de traductoare de presiune electrice (inductive, tensometrice etc.) asociate elementului elastic constituit dintr-o membrană plată.

Erorile de măsurare cu aceste aparate ajung la cca ± 2% din valoarea maximă a domeniului de măsurare.

6.6.3. Aparate cu capsulă

Elementul elastic al acestor aparate îl constituie capsulele cu acţiune unilaterală formate dintr-o membrană lipită pe un taler rigid (fig. 6.2o a), capsulele cu acţiune bilaterală formate din două membrane asamblate (fig.6.2o b) şi blocurile de capsule. In fig. 6.2o c.d şi e, se arată principul funcţional al capsulelor pentru măsurarea presiunii, depresiunii şi respec-

tiv a presiunii diferențiale.

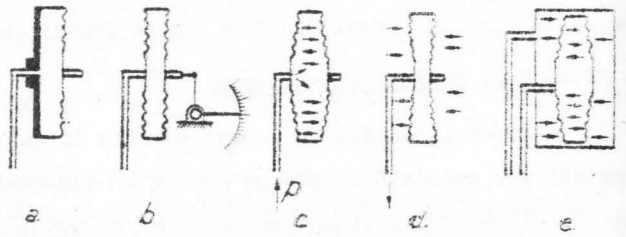


Fig. 6.2o. Scheme privind utilizarea capsulelor la aparatele de măsurat presiunea.

Aceste aparate au domeniul de măsurare de la 1o la 6ooo mm H_2O și limitele erorilor de ±1%.

Capsulele elastice bilaterale sînt foarte sensibile la vibrații și șocuri. Atît capsulele cu acțiune unilaterală cît și cele cu acțiune bilaterală sînt insensibile la variațiile de temperatură.

In fig. 6.21 se arată schema barometrului aneroid, care utilizează ca element elastic o capsulă, 2, cu acțiune unilaterală. In timpul funcționării, arcul lamelar, 7, transmite deplasarea elementului mobil al capsulei la acul indicator, 5, al aparatului cu ajutorul pîrghiei,4 și al unui lănțișor,6 (sau pîrghie cu cremalieră).

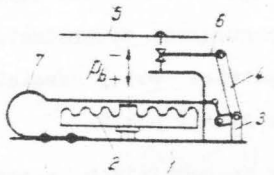


Fig. 6.21. Schema barometrului aneroid.

6.6.4. Aparate cu burduf

La aceste aparate elementul elastic este burduful (tub ondulat). Înălțimea burdufului variază în funcție de valorile presiunii aplicate în interior sau exterior (fig. 6.22).

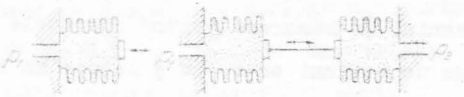


Fig. 6.22. Scheme privind utilizarea burdufului la aparatele de măsurat presiunea.

Domeniul de măsurare al acestor aparate este cuprins, în general, între 6o și 1ooo mm H_2O.

6.7. Aparate combinate

Din această categorie de aparate se vor trata : aparatele cu plutitor, cu clopot și cu tor oscilant.

6.7.1. Aparate cu plutitor

Funcționarea acestor aparate se bazează pe principiul aparatelor cu rezervor și tub vertical. Aparatul se compune dintr-un rezervor 1, cu diametrul D și un vas interior 2, cu diametrul d, mai mic, formînd două vase comunicante (fig.6.23).

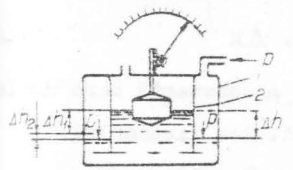


Fig. 6.23. Aparat cu plutitor.

Dacă o presiune p acționează în rezervorul exterior, se produce o denivelare Δh proporțională cu această presiune, iar plutitorul se va deplasa cu :

$$\Delta h_1 = \frac{D^2 - d^2}{D^2} \Delta h = K.p \quad (6.24)$$

K fiind o constantă.

Rezultă deci, că deplasarea plutitorului Δh_1 este proporțională cu presiunea p .

Astfel de aparate sînt construite în calitate de manometre, vacuummetre, manovacuummetre și manometre diferențiale indicatoare sau și înregistratoare.

Domeniul de măsurare pentru aparatele care măsoară sup[r] presiuni sau depresiuni este 1o ÷ 1o.ooo mm H_2O. In calitate [de] lichid de lucru se folosesc uleiuri foarte fluide pînă la 1oo [mm] H_2O şi mercur pentru presiuni mai mari.

6.7.2. Aparate cu clopot

Aceste aparate fac parte din categoria balanţelor de presiune şi se utilizează îndeosebi la măsurarea presiunilor mici.

Clopotul aparatului (fig. 6.24) se deplasează pe direcţie verticală, cînd în spaţiul de sub [el] acţionează o presiune, pînă în momentul [cînd] forţele active ajung în echilibru.

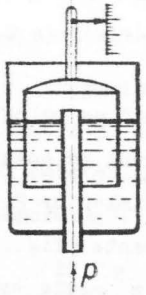


Fig.6.24. Schema aparatului cu clopot.

Dacă se notează cu Δh deplasar[ea] pe verticală a clopotului în cazul aplică[rii] unei suprapresiuni, p , rezultă din condi[ţia] de echilibru a forţelor relaţia :

$$p = K . \Delta h \qquad (6.25)$$

în care K este o constantă care depinde de dimensiunile constructive şi densitatea lichidului.

Sensibilitatea sistemului $d(\Delta h)/dp$ depinde numai de dimensiunile aparatului şi este cu atît mai mare, cu cît densitatea este mai mică.

Domeniul de măsură este limitat de înălţimea lichidului de închidere care nu permite comunicarea cu exteriorul.

Limitele erorilor sînt cuprinse între ±o,1% şi ±o,[5]% din valoarea maximă a indicaţiei aparatului.

Au fost realizate şi micromanometre etalon de acest [tip] cu balanţă,cu domeniul de măsurare de la 1o la 4oo mm H_2O , [cu]

erori de măsurare de ±(o,ol ... o,o2)mm H_2O,pentru presiuni pînă la 1o ÷ 25 mm H_2O şi ±o,o2% din valoarea maximă a indicaţiei aparatului pentru sarcini mai mari.

6.7.3. Aparate cu tor oscilant

Aceste aparate sînt denumite şi balanţe inelare iar funcţionarea lor se bazează pe principiul balanţei simple cu braţe egale şi a aparatelor cu lichid. Ele sînt indicate şi frecvent folosite pentru măsurarea presiunilor, a diferenţelor de presiune şi mai ales a căderilor de presiune, în cazul măsurărilor de debit cu ajutorul diafragmelor.

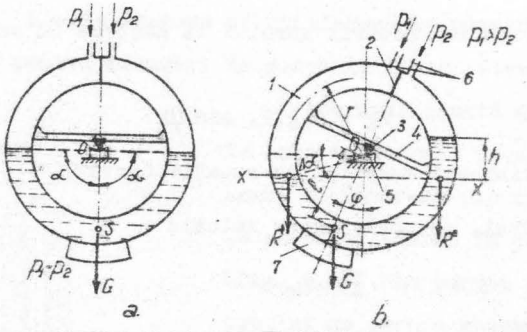


Fig. 6.25. Principiul aparatului cu tor oscilant.

Un astfel de aparat (fig. 6.25 a, b) se compune dintr-un tub inelar (tor) 1, separat în două camere de presiune printr-un perete despărţitor 2 şi un lichid de închidere. Cu ajutorul unui cuţit 3 al pîrghiei 4 cu braţe egale, torul se sprijină pe suportul 5. Ambele camere sînt legate prin racorduri flexibile, pentru a nu exercita nici un fel de moment de rotaţie suplimentar asupra balanţei. La partea inferioară a torului este fixată greutatea de echilibrare 7 .

Cînd acţionează presiunile p_1 şi p_2 (fig. 6.25 b) ia

naştere un moment de rotaţie,

$$M = (p_1 - p_2)\, A \cdot r \qquad (6.26)$$

în care A este suprafaţa peretelui despărţitor ;

r - raza medie a torului.

Lichidul de închidere cu densitatea ρ_L se deplasează sub lichidul de umplere ρ în sens contrar momentului de rotaţie, până când :

$$p_1 - p_2 = h \cdot g\,(\rho_L - \rho) \qquad (6.27)$$

Relaţia (6.26) arată că momentul este independent de tipul, cantitatea şi temperatura lichidului de închidere.

Datorită rotirii torului ia naştere un moment rezistent :

$$M_g = m \cdot g \cdot l \cdot \sin\varphi \qquad (6.28)$$

care echilibrează momentul de rotaţie (activ).

Deci, se poate scrie relaţia :

$$M = M_g$$

adică $(p_1 - p_2) \cdot A \cdot r = m \cdot g \cdot l \cdot \sin\varphi$, de unde rezultă ;

$$\sin\varphi = \frac{(p_1 - p_2) \cdot A \cdot r}{m \cdot g \cdot l} \qquad (6.29)$$

unde φ - este unghiul de deviaţie al balanţei ;

m - masa părţii rigide a sistemului ;

l - distanţa până la centrul de greutate.

Relaţia (6.29) arată că deviaţia balanţei inelare este proporţională cu diferenţa de presiune $\Delta p = p_1 - p_2$.

Sensibilitatea balanţei inelare este dată de relaţia :

$$\frac{d\varphi}{d(\Delta p)} = \frac{A \cdot r}{m \cdot g \cdot l \cdot \cos\varphi} \qquad (6.30)$$

Un procedeu simplu de a modifica sensibilitatea constă în modificarea distanţei ,l, până la centrul de greutate.

Domeniul de măsurare al acestor aparate variază de la 4 la 2500 mm H_2O .

Pentru unele tipuri constructive eroarea de măsurare garantată de constructori este de ±1% din limita superioară de măsurare, atît pentru aparatele simple indicatoare, cît şi pentru cele înregistratoare. La aparatele prevăzute cu traductoare pentru transmitere la distanţă eroarea de măsurare ajunge până la ±(2 ... 2,5)% din limita superioară de măsurare.

6.8. Aparate cu piston şi greutăţi

Aceste aparate se utilizează în prezent ca etaloane şi uneori pentru măsurări de precizie în cercetare.

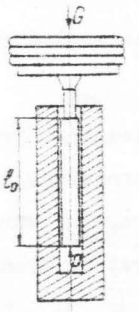


Fig. 6.26. Ansamblu piston - cilindru.

Aparatul constă dintr-un cilindru în care acţionează presiunea care se măsoară şi dintr-un piston introdus etanş în acest cilindru, în poziţie verticală (fig. 6.26). La partea superioară a pistonului se aşează greutăţi, până când pistonul ajunge în echilibru cu presiunea măsurată.

Se construiesc astfel de aparate cu clasele de precizie : 0,2; 0,1; 0,05; 0,02; 0,005. La aceste aparate eroarea de măsurare se dă ca eroare relativă la valoarea presiunii măsurate.

Domeniul de măsură este foarte întins depăşind în cazuri rare presiunea de 2500 kgf/cm^2 (250 MN/m^2).

La utilizarea acestor aparate trebuiesc introduse une-

le corecţii referitoare la : valoarea acceleraţiei, temperatură, presiunea hidrostatică a coloanei de lichid şi variaţia ariei active în funcţie de presiune [3] .

6.9. Aparate de măsurat presiunea cu traductoare electrice

La aceste aparate se deosebesc trei elemente principale:

- elementul sensibil, asupra căruia acţionează presiunea de măsurat. Acesta poate fi element elastic, tub U , rezervor şi tub, tor oscilant etc.

- traductorul, care preia direct sau indirect de la elementul sensibil mărimea rezultată din aplicarea presiunii ce se măsoară asupra acestuia şi o converteşte într-o mărime electrică care se transmite aparatului de măsurat.

- aparatul de măsurat, care este un aparat indicator, înregistrator sau indicator - înregistrator.

Traductoarele utilizate se pot clasifica în : rezistive, inductive, tensometrice, piezoelectrice şi capacitive. Denumirea aparatului se face în funcţie de felul traductorului utilizat ca de exemplu aparat cu traductor rezistiv, aparat cu traductor inductiv etc.

6.9.1. Aparate cu traductoare rezistive

După modul de realizare a convertirii presiunii în variaţie a rezistenţei electrice, aceste aparate se pot clasifica în :

- aparate cu rezistenţă sensibilă la presiune,
- aparate cu rezistenţă şi contact mobil sau reostatice,
- aparate cu rezistenţă electrolit.

Rezistenţele posibil de utilizat pentru prima categorie

de aparate sînt cărbunele şi manganina.

Datorită fenomenului de histerezis, a nesiguranţei punctului zero şi a dependenţei de temperatură, traductoarele de măsurare cu cărbune, actualmente, aproape că nu se mai folosesc.

În ceea ce priveşte manganina, se menţionează că rezistenţa sa electrică variază liniar cu presiunea, după relaţia :

$$\Delta R = K_r \cdot R \cdot p \qquad (6.31)$$

în care :

ΔR - este variaţia rezistenţei electrice ;

K_r - constanta de presiune a manganinei ;

R - rezistenţa electrică a conductorului supus presiunii ;

p - presiunea.

Traductorul rezistiv de manganină se poate utiliza pentru măsurarea presiunii şi fără a fi supus acţiunii directe a presiunii.

Astfel, pentru măsurarea, de exemplu a presiunii gazelor din cilindrul unui motor, se utilizează această presiune pentru a produce prin intermediul unui piston o forţă, proporţională cu ea, care tensionează un conductor (fig. 6.27).

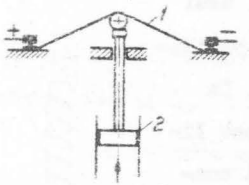


Fig. 6.27. Principiul de măsurare a presiunii cu ajutorul unui conductor rezistiv tensionat.

Deşi rezistivitatea unui conductor întins de manganină (82,12% Cu, 15,02% Mn, 2,29% Ni şi 0,57% Fe) cu secţiunea de 1 mm^2 variază numai cu 0,02% pentru o sarcină de 1 kgf, metoda de măsurare poate fi utilizată dato-

rită sensibilităţii deosebit de ridicate a aparatelor electrice.

Aparatele cu rezistenţă şi contact mobil folosesc diferite tipuri de traductoare reostatice (fig.6.28). Traductoarele arătate în fig. 6.28 a şi b sînt adaptate aparatelor cunoscute (manometru cu tub elastic şi balanţă inelară) iar cel din fig. 6.28 c, este destinat aparatelor cu lichid în vederea transmiterii indicaţiilor la distanţă.

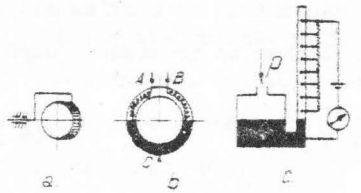


Fig. 6.28. Scheme principale de traductoare.
a - traductor cu rezistenţă cu contact mobil; b - traductor reostatic inelar cu mercur; c - traductor rezistiv cu contacte fixe (pentru aparate cu lichid).

La aparatele cu rezistenţă electrolit, traductorul este format dintr-o capelă ce conţine doi electrozi plani ficşi între care este amplasat un electrod mobil, antrenat de un element elastic. Electrozii sînt cufundaţi într-o baie cu electrolit. Rezistenţa electrolitului se modifică în funcţie de distanţa dintre electrozi, respectiv, în funcţie de presiune.

6.9.2. Aparate cu traductoare inductive

Funcţionarea traductoarelor inductive se bazează pe modificarea inductanţei sau reluctanţei unui circuit magnetic datorită schimbării poziţiei unui conductor. Elementul sensibil la acţiunea presiunii (element elastic sau lichid manometric, fig.6.15) deplasează conductorul (miezul) proporţional cu mărimea de măsurat.

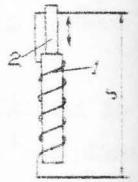


Fig.6.29.Traductor inductiv-principiu

In principiu, sînt formate dintr-un solenoid şi un miez din fier moale (fig.6.29).

Aceste traductoare funcţionează în curent alternativ şi se utilizează mai ales pentru transmiterea indicaţiilor la distanţe mai mari de 50 m.

6.9.3. Aparate cu traductoare tensometrice

Traductoarele tensometrice, denumite şi mărci tensometrice se pot utiliza pentru măsurarea presiunilor statice sau variabile în intervalul de la 10^{-3} Kgf/cm^2 pînă la 1000 Kgf/cm^2.

Marca tensometrică este constituită dintr-un fir metalic 1 cu diametrul de ordinul sutimilor de milimetru, fixat în zig-zag pe un suport 2 din hîrtie, polietilenă, cauciuc special etc., (fig.6.30). Capetele firului sînt legate la conductoarele 3 .

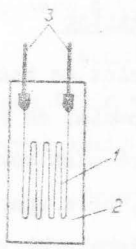


Fig. 6.30 Marcă tensometrică.

Materialele indicate pentru confecţionarea firului sînt : constantanul, manganina, nichel - cromul sau cupru-nichel.

In domeniul de elasticitate a firului, variaţia relativă $\Delta R/R$ a rezistenţei lui este proporţională cu variaţia $\Delta L/L$ a lungimii firului.

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta L}{L} \qquad (6.32)$$

Constanta K depinde de natura firului (cca 2 pentru constantan şi 2,2 pentru nichel, crom şi cupru - nichel).

In vederea măsurării presiunii, marca tensometrică se lipeşte cu un clei special pe un corp deformabil (tub elastic, membrană etc.) sub acţiunea presiunii. Lipirea, de exemplu a unei astfel de mărci tensometrice pe un tub elastic intercalat pe circuitul de injecţie a combustibilului la un motor Diesel, permite obţinerea variaţiei presiunii combustibilului din conductă în timpul funcţionării motorului.

Dacă se prevăd variaţii de temperaturi care pot conduce la dilatări sau contracţii ale materialului pe care se lipeşte marca tensometrică sau chiar ale firului, se recomandă utilizarea a cel puţin două mărci tensometrice dintre care una serveşte la măsurare iar cealaltă la compensarea efectului de dilataţie.

Pentru măsurare se folosesc montajele în punte iar prin amplificarea semnalului de ieşire se pot realiza sisteme înregistratoare cu oscilograf etc. Erorile de măsurare pot fi reduse pînă la 1% din limita maximă de măsurare.

Aceste traductoare beneficiază de avantajul că pot fi realizate cu mijloace proprii.

6.9.4. Aparate cu traductoare piezoelectrice

Funcţionarea traductoarelor piezoelectrice se bazează pe faptul că anumite tipuri de cristale, în special de cuarţ şi turmalină, îşi modifică sarcina electrică dacă sînt comprimate de-a lungul axei. Sarcinile electrice, q, care apar, deşi foarte mici, au calitatea de a fi proporţionale cu presiunea p care se exercită pe suprafaţa cristalului S, conform relaţiei :

$$q = K_c \cdot p \cdot S \qquad (6.33)$$

K_c - fiind constanta piezoelectrică.

Acest fenomen este denumit piezoelectricitate.

In afară de cristalele naturale amintite mai sus, există şi materiale produse pe cale artificială ca sarea Saignette şi titanatul de bariu. La titanatul de bariu efectul piezoelectric este de 50 ÷ 60 ori mai mare decît la cuarţ.

Deoarece cristalele nu suferă aproape nici o deformare măsurarea este practic lipsită de inerţie (cu frecvenţă proprie foarte mare) fiind deosebit de adecvată în cazul variaţiilor rapide de presiune (pentru studiul proceselor din maşinile termice etc.)

Dificultăţile care intervin la efectuarea măsurărilor cu aceste aparate sînt :

- etalonare dificilă pentru că variaţia de sarcină electrică nu persistă în timp ;

- sarcinile ce se măsoară sînt foarte mici (picocoulombi);

- temperaturile produc dilatări care modifică compresiunea prealabilă a cristalelor ;

- cîmpurile electrice exterioare influenţează măsurarea, din care cauză este necesară o ecranare.

Sensibilitatea metodei se poate mări dacă traductorul se execută din mai multe cristale dispuse sub forma unei coloane, astfel încît, sarcinile lor să se adune.

Cristalele piezoelectrice se pot utiliza într-un domeniu de presiuni de pînă la 1000 Kgf/cm^2 (100 MN/m^2) sau chiar peste.

Eroarea de măsurare a presiunilor variabile cu frecvenţă mare nu depăşeşte 1,5 ÷ 2% din limita superioară de măsurare.

6.9.5. Aparate cu traductoare capacitive

In principiu, un traductor capacitiv utilizat pentru măsurarea presiunii este format dintr-o armătură fixă şi una mobilă, astfel încît distanţa dintre ele variază în funcţie de valoarea presiunii de măsurat. Armătura mobilă poate fi constituită dintr-o membrană elastică deformabilă sub acţiunea presiunii sau poate fi solidarizată cu un element elastic.

Pentru un condensator plan, capacitatea C variază

în funcţie de distanţa d după relaţia :

$$C = \frac{\varepsilon \cdot A}{d} \qquad (6.34)$$

ε - fiind constanta dielectrică a mediului dintre armături şi

A - suprafaţa unei armături.

In fig. 6.31 se arată o schemă funcţională posibilă pentru un astfel de aparat.

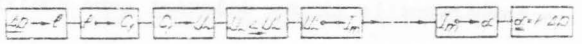


Fig. 6.31. Schema funcţională a unui aparat cu traductor capacitiv pentru măsurat presiunea prin metoda deviaţiei.

Δp - variaţia presiunii care modifică distanţa l între electrozi ;

C_1 - capacitatea traductorului ; $U_{\sim}$ - tensiunea de ieşire a punţii; $U'_{\sim}$ - tensiunea amplificată de ieşire a punţii ; I_m - curentul dispozitivului de măsurat ;

α - deviaţia dispozitivului de măsurat.

Dificultăţile principale se datoresc capacităţilor parazite precum şi temperaturii mediului înconjurător, care poate conduce la modificarea distanţei între armături.

Domeniul de măsurare se întinde de la presiuni foarte mici de ordinul milimetrilor coloană de apă, pînă la presiuni de sute de Kgf/cm^2 (zeci de MN/m^2) .

Erorile de măsurat variază în funcţie de tipul traductorului şi mărimea de măsurat între $\pm 0{,}3$ şi $\pm 2\%$.

6.1o. Vacuummetre de presiune absolută (joasă)

In funcţie de presiunea zero de referinţă, vacuummetrele se împart în :

- vacuummetre de presiune relativă, la care reperul zero

corespunde presiunii atmosferice ;

- vacuummetre de presiune absolută, la care reperul zero corespunde vacuummului absolut.

In calitate de vacuummetre de presiune relativă pot fi utilizate, aşa cum s-a arătat, diferite tipuri de aparate descrise anterior.

Vacuummetrele de presiune absolută se folosesc, mai ales, în domeniul vacuummului înalt (sub 5o mm Hg).

In funcţie de legile fizice care stau la baza funcţionării lor, vacuummetrele se împart în :

- vacuummetre mecanice ;
- vacuummetre de compresie ;
- vacuummetre bazate pe conductibilitatea termică ;
- vacuummetre de ionizare ;
- vacuummetre bazate pe frecarea gazelor etc.

6.1o.1. Vacuummetre mecanice

Vacuummetrele din această categorie se bazează pe principiul de funcţionare al aparatelor cu lichid, cu element elastic, combinate şi cu piston şi greutăţi.

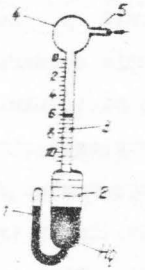


Fig.6.32. Vacuummetru simplu cu mercur.

Un vacuummetru simplu de mercur , care poate fi utilizat în laborator, este arătat în fig. 6.32. Acesta se compune dintr-un tub subţire, 1, vacuumat şi închis la partea superioară iar partea inferioară care este curbată se continuă cu o porţiune de diametru mai mare, 2 , şi apoi cu un tub îngust, 3, care are la partea superioară o porţiune sferică, 4, prevăzută cu racordul 5 .

Vacuummetrul este umplut cu mercur numai pînă la o anumită înălțime a tubului larg 2 și în continuare se umple cu lichid colorat (ulei de siliconi). Cînd racordul 5 face legătura între aparat și spațiul a cărui vid se măsoară, nivelul mercurului se modifică și corespunzător se deplasează și lichidul de deasupra acestuia.

Acest vacuummetru permite măsurarea unui vacuum pînă la o,o5 mm Hg cu o eroare de măsurare de ordinul o,ol mm Hg.

6.1o.2. Vacuummetre de compresie (Mac Leod)

Funcționarea acestor aparate se bazează pe comprimarea unui volum cunoscut de gaz aflat la presiune necunoscută, pînă cînd acesta ocupă un volum mai mic, cunoscut, sub o presiune care se poate măsura.

In fig. 6.33 este redat aparatul pentru trei faze distincte din cadrul procesului de măsurare. Prin ridicarea pistonului (fig. 6.33 a) se admite în aparat gaz la presiunea necunoscută p_i iar apoi, prin apăsarea în jos a pistonului, se reglează nivelul mercurului în așa fel încît în ramura din stînga, A , să se izoleze o cantitate de gaz, într-un volum cunoscut, V ,(fig. 6.33 b). Comprimarea acestei cantități de gaz se face prin apăsarea pistonului în jos, pînă cînd nivelul mercurului din tubul

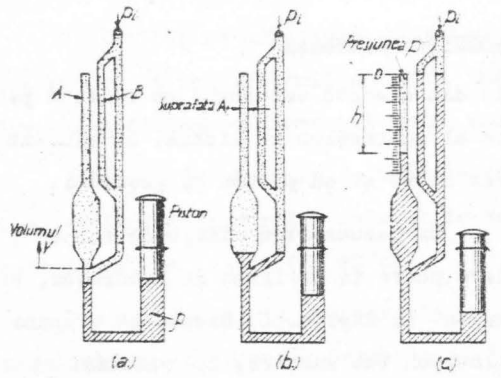


Fig. 6.33. Vacuummetrul Mac-Leod.

B ajunge la reperul zero (fig.6.33c) sau pînă cînd nivelul mercurului din tuburile A și B este același dacă aparatul este pus în comunicație cu atmosfera.

Presiunea necunoscută se calculează, folosind legea Boyle - Mariotte, astfel :

$$p_i V = p \cdot A_t h \qquad (6.35)$$

$$p = p_i + h \cdot \rho \cdot g \qquad (6.36)$$

$$p_i = \frac{\rho \cdot g \cdot A_t \cdot h^2}{V - A_t \cdot h} \approx \frac{\rho \cdot g \cdot A_t \cdot h^2}{V} \quad \text{dacă } V \gg A_t h \qquad (6.37)$$

In aceste relații în afară de p_i, V, h și p, a căror semnificație este cunoscută, s-a mai notat cu :

ρ - densitatea mercurului ;
g - accelerația gravitațională ;
A_t - secțiunea tubului A ;

Aceste aparate se pot utiliza pentru măsurări de vacuumuri de pînă la $1o^{-5}$ mm Hg cu erori de măsurare cuprinse între 3 și 3o%, în funcție de valoarea vacuumului măsurat. In cazul în care gazul conține și umiditate, erorile cresc datorită condensării acesteia în timpul comprimării.

6.1o.3. Vacuummetre bazate pe conductibilitatea termică

Funcționarea acestor aparate se bazează pe dependența conductibilității termice a gazelor de presiune, la valori foarte mici ale presiunii. Acest efect, aplicat pentru prima dată de Pirani în 1906, se poate folosi pentru efectuarea măsurărilor de la 1 torr la $1o^{-3}$ torr (uneori pînă la $1o^{-4}$ torr).

La aceste aparate conductibilitatea termică a gazului se măsoară cu ajutorul unui conductor parcurs de un curent constant astfel încît temperatura acestuia să nu depășească

în general, 100°C. Temperatura acestui conductor se stabilizează la valori dependente de conductibilitatea gazului, respectiv, de presiunea gazului. In funcție de modul în care se măsoară această temperatură (termorezistență, termocuplu și termistor) s-au realizat diferite tipuri de aparate.

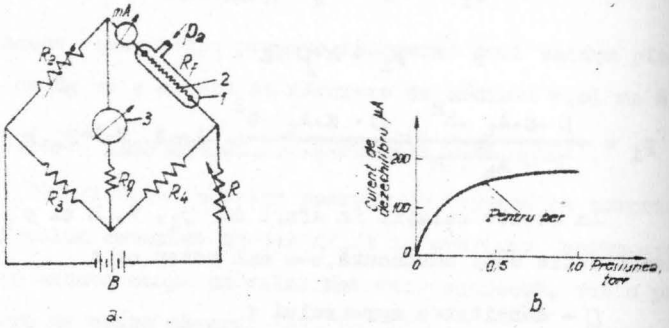


Fig. 6.34 a. Schema de principiu a vacuummetrului termic Pirani. b. Principiul de măsurare.

In fig. 6.34 a, este arătată schema de principiu a vacuummetrului termic numit și vacuummetru Pirani. Celula de măsură măsoară brațul unei punți Wheatstone și are în interior un fir subțire din platină, nichel, wolfram etc. care constituie rezistența R_f. Cantitatea de căldură pierdută de către rezistența R_f este funcție de gradul de vacuum. Dacă măsurarea se bazează pe menținerea constantă a temperaturii rezistenței se variază intensitatea curentului care străbate rezistența (fig. 6.34 b).

Domeniul de măsurare al acestor aparate este cuprins între 2o și $1o^{-3}$ mm Hg, eroarea de măsurare variind între 1o și 5o% în funcție de gradul de vacuum.

Vacuummetrul a cărui schemă se arată în fig.6.35 a, se bazează de asemenea pe conductibilitatea termică, temperatura filamentului 2 , măsurîndu-se acum cu un termocuplu 3 .

Acest vacuummetru mai conține în afară de celula de măsurare 1, sursa de alimentare B , rezistența reglabilă R și aparatul indicator 4 . La fel ca și la celelalte vacuummetre bazate pe principiul conductibilității, scările nu sînt liniare. Etalonarea se face pentru aer dar aparatele sînt însoțite și de curbe de etalonare pentru alte gaze (fig. 6.35 b).

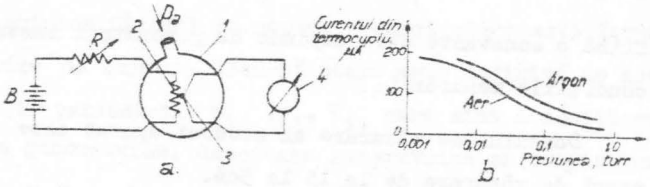


Fig. 6.35. Schema de principiu și curbele de etalonare pentru vacuummetrele cu termocuplu.

Domeniul lor de măsurare este de 1 ... $1o^{-3}$ mm Hg erorile variind corespunzător între 15 și 5o%.

6.1o.4. Vacuummetre cu ionizare

Pentru domeniul de măsurare 1 ... $1o^{-11}$ mm Hg se poate utiliza principiul ionizării gazelor.

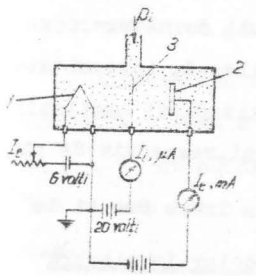


Fig. 6.36. Schema de principiu a vacuummetrului cu catod cald.

In fig. 6.36 este arătată schema de principiu a vacuummetrului cu catod cald. Funcționarea acestuia se bazează pe măsurarea curentului ionic dintr-o celulă de măsurare , curent determinat de numărul de ioni pozitivi care apar ca urmare a ciocnirii electronilor cu moleculele gazului (rarefiat) în drumul lor între catodul 1 și anodul 2. Dacă între catod și anod există o diferență de potențial mai mare decît potențialul de ionizare a gazului din tub, se formează ioni pozitivi care sînt colectați

pe electrodul negativ 3. Numărul ionilor pozitivi ce se formează este direct proporţional cu intensitatea curentului ionic I_i şi cu presiunea p a gazului ce se măsoară. Dacă se notează cu I_i curentul ionic colectat, relaţia dintre I_e, I_i şi p este :

$$p = K \frac{I_i}{I_e} \qquad (6.38)$$

K fiind o constantă care depinde de parametrii instalaţiei şi de condiţiile măsurării.

Domeniul de măsurare al acestui aparat este 1 .. 10^{-10} mm Hg cu erori de măsurare de la 15 la 5%.

Au fost realizate şi vacuummetre de ionizare cu catozi reci şi anume vacuummetrul de ionizare magnetic tip Penning şi alfatronul [3].

6.10.5. Vacuummetre bazate pe frecarea gazelor

Principiul de funcţionare al acestor aparate se bazează pe acţiunea de frînare a gazului pentru elemente în mişcare, dependentă de presiunea gazului. Astfel, dacă în întrefierul unui magnet permanent aflat într-o celulă de măsurare se găseşte o bandă din metal nobil care oscilează, intensitatea curentului necesar pentru menţinerea amplitudinii oscilaţiilor este funcţie de acţiunea de frînare a gazului, respectiv de presiunea gazului.

Domeniul de măsură este cuprins între 8oo şi 10^{-3} mm Hg.

6.11. Măsurarea presiunii fluidelor în mişcare

6.11.1. Generalităţi

La efectuarea măsurărilor de presiune în fluide în mişcare se disting diferite presiuni ca : presiunea statică (p_s) , presiunea dinamică (p_d) şi presiunea totală (p_t) legate între ele prin relaţia cunoscută :

$$p_t = p_s + p_d \qquad (6.39)$$

Într-o secţiune dintr-o vînă de fluid unde viteza este W , starea fluidului este definită de doi din parametrii p, ρ, T (presiune, densitate şi temperatură). Această stare poate fi considerată că se obţine în urma unui proces izentropic, care are ca origine fluidul în repaus a cărui stare este denumită generatrice de curgere. Această stare este definită de asemenea, de doi din parametrii p_i, ρ_i, T_i care sînt denumiţi respectiv presiune generatrice, densitate generatrice şi temperatură generatrice. Starea generatrice poate fi considerată şi ca starea fluidului dintr-un rezervor infinit de mare, care alimentează prin curgere izentropică vîna de fluid considerată.

Dacă facem acum presupunerea că vîna de fluid caracterizată de W, p, ρ , T în secţiunea S (fig.6.37) se opreşte în faţa unui corp situat în aval de această secţiune, curgerea fluidului între S şi punctul de frînare F fiind izentropică, este evident că starea fluidului în punctul de oprire este aceeaşi ca starea generatrice.

Într-un mod mai general se poate considera o frînare izentropică virtuală care să lege astfel parametrii locali W, p, ρ , T de condiţiile generatrice locale p_i, ρ_i, T_i fără a face nici o ipoteză asupra stării W, p, ρ , T care a fost produsă.

Presiunile p şi p_i se pot măsura cu ajutorul unei sonde de presiune statică şi a unei sonde de presiune totală.

Aplicînd teorema lui Barré de Saint-Venant pentru o linie de curent din vîna fluidă care atinge corpul considerat într-un punct F (fig. 6.37) se obţin în cazul curgerii izentropice subsonice a fluidelor compresibile relaţiile :

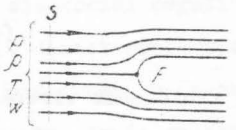


Fig. 6.37. Punct de frînare

$$\frac{K}{K-1}\frac{p_f}{\rho_f} = \frac{K}{K-1}\frac{p}{\rho} + \frac{W^2}{2} = \frac{K}{K-1}\cdot\frac{p_i}{\rho_i} \qquad (6.40)$$

în care, în afara mărimilor cu semnificaţie cunoscută, au mai intervenit exponentul adiabatic K şi indicele f care caracterizează parametrii de frînare (conform celor menţionate $p_i = p_f$, $\rho_i = \rho_f$ şi $T_i = T_f$).

Dacă se aplică ecuaţia izentropei stărilor (p, ρ, T) şi (p_i, ρ_i, T_i) se elimină ρ_i din ultima egalitate a relaţiilor (6.40), se obţine după ce se face substituţia $W = M\sqrt{\rho \cdot RT}$, relaţia :

$$p_i = p\left[1 + \frac{K-1}{2} M^2\right]^{\frac{K}{K-1}} \qquad (6.41)$$

M fiind numărul lui Mach.

Pentru valori reduse a lui M, se poate dezvolta în serie relaţia (6.41) şi se obţine :

$$p_i = p + \frac{\rho \cdot W^2}{2} + \frac{\rho W^2}{2}\left[\frac{1}{4} M^2 + \frac{2-K}{24} M^4 + \ldots\right] \qquad (6.42)$$

La această formă a relaţiei s-a ajuns după ce s-a făcut substituţia :

$$\frac{\rho \cdot K}{2} \cdot M^2 = \frac{\rho \cdot K}{2}\frac{W^2}{K \cdot RT} = \frac{\rho W^2}{2}$$

Din relaţia (6.42) se observă că suma primilor doi termeni reprezintă presiunea de frînare în fluidele necompresibile deoarece pentru aceste fluide este valabilă relaţia :

$$p_f - p = \rho \frac{W^2}{2} \qquad (6.43)$$

care poate fi scrisă şi sub forma :

$$\frac{p_f - p}{\frac{\rho \cdot W^2}{2}} = 1 \qquad (6.44)$$

Dacă se introduce numărul lui Mach în relaţia (6.43) se poate exprima raportul p_f/p în funcţie de M, astfel :

$$\frac{p_f}{p} = 1 + \frac{K}{2} M^2 \qquad (6.45)$$

Dacă se aduce relaţia (6.42), valabilă pentru fluidele compresibile, la o formă comparabilă cu relaţia (6.44), valabilă pentru fluidele necompresibile, se obţine :

$$\frac{p_f - p}{\frac{\rho \cdot W^2}{2}} = 1 + \frac{M^2}{4} + \frac{2-K}{24} M^2 + \ldots \qquad (6.46)$$

Comparînd relaţiile (6.44) şi (6.46) se constată că presiunea de frînare este mărită datorită compresibilităţii.

Considerînd, pentru exemplificare, cazul aerului se obţine tabela 6.1 şi graficul din figura 6.38, din care

- Tabela 6.1 -

Valorile $\frac{p_f - p}{\rho \cdot W^2/2}$ în funcţie de M pentru aer

M	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\frac{p_f - p}{\frac{\rho \cdot W^2}{2}}$	1,003	1,010	1,023	1,041	1,064

rezultă că dacă la un fluid compresibil se neglijează efectul compresibilităţii, erorile relative $(p_f - p)/\frac{\rho W^2}{2}$ cresc odată cu creşterea numărului Mach.

In cazul unei curgeri supersonice se produce o undă de

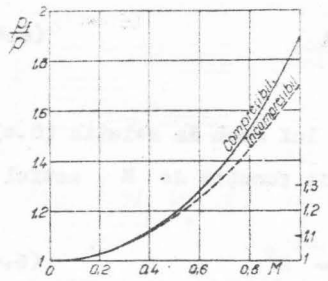


Fig. 6.38. Variaţia raportului $\frac{p_f}{p}$ în funcţie de M pentru un fluid compresibil (aer) şi un fluid necompresibil.

şoc înaintea unui corp, respectiv a sondei pentru priza de presiune. Această undă de şoc reprezintă un fenomen ireversibil şi nu i se poate aplica legea izentropică astfel încît sonda pentru presiunea totală indică o presiune de frînare reală, p_{fr}, inferioară presiunii de frînare izentropică, $p_i = p_f$. Rapoartele p_{fr}/p_f se găsesc în tabele în funcţie de valorile numărului M [7] .

In cazul în care este necesară valoarea medie a presiunii totale, $\bar{p}_t$, într-o secţiune (valoarea presiunii totale în dreptul unui plan), pentru fluidele incompresibile, se pleacă de la relaţia :

$$\int_A \bar{p}_f \cdot d\left(\frac{\rho}{\Delta\tau}\right) = \int_A p\, d\left(\frac{\rho}{\Delta\tau}\right) + \int_A \frac{\rho W^2}{2} \rho W\, d A \,, \qquad (6.47)$$

în care integralele sînt luate în lungul suprafeţei A a planului considerat, iar $\Delta\tau$ reprezintă o diferenţă finită de timp şi se găseşte [1] :

$$\bar{p}_t = p + \rho \cdot \alpha \frac{W^2}{2} \qquad (6.48)$$

In această relaţie α reprezintă coeficientul energiei cinetice, iar celelalte mărimi au semnificaţia cunoscută.

Pentru curgerea uniformă $\alpha = 1{,}0$ iar pentru curgerea turbulentă $1{,}02 < \alpha < 1{,}15$.

Pentru fluidele compresibile, relaţiile asemănătoare care-l pot exprima pe $\bar{p}_t$, au forme complicate [1] .

6.11.2. Prize pentru presiunea statică

Măsurarea presiunii statice este necesară pentru diferite scopuri ca : determinări de viteze, stabiliri a punctelor de stare termodinamică, obţinerea indicaţiilor privind direcţia curgerii etc.

Prizele pentru presiunea statică se pot obţine sub trei forme, ca : orificii mici prevăzute în pereţii care mărginesc fluidul în curgere, (utilizate prima oară în acest scop de către D. Bernoulli), orificii mici prevăzute în tuburi statice de tipul celor realizate de L.Prandtl şi orificii mici plasate în punctele critice ale unor corpuri de formă aerodinamică unde acţionează în mod natural presiunea statică.

6.11.2.1. Orificii în pereţi

Dacă priza de presiune este sub această formă, se poate măsura în majoritatea cazurilor, cu precizie suficientă, presiunea statică, dacă se respectă unele recomandări referitoare la execuţia, mărimea şi forma orificiului.

Astfel, la locul găuririi canalului nu trebuie să rămînă bavuri, deoarece orice neregularitate poate să cauzeze erori de măsurare considerabile.

Referitor la forma orificiului s-a constatat, în general, că, orificiile pătrate infinit de mici practicate normal la direcţia de curgere dau în mod corect presiunea statică.

Cînd se execută măsurări de mare precizie au importanţă atît mărimea cît şi forma orificiului. Efectul mărimii orificiului este evaluat experimental în raport cu un orificiu

mic de diametru luat arbitrar (fig.6.39). In fig. 6.4o sînt ilustrate influenţele formelor constructive ale orificiilor asupra preciziei de măsurare a presiunii statice.

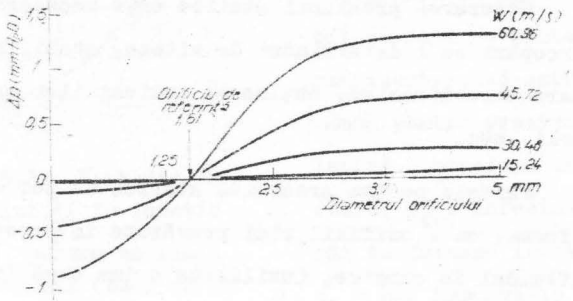


Fig. 6.39. Influenţa mărimii orificiului prizei asupra preciziei de măsurare a presiunii statice pentru 1,5< l/d <6,o (v.fig.6.42)

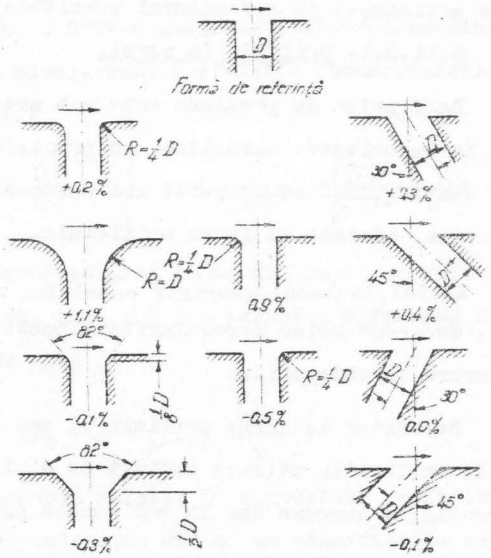


Fig. 6.4o. Influenţa formei orificiilor asupra măsurării presiunii statice.

In fig. 6.41 se arată variaţia procentuală a erorii, la măsurarea presiunii statice, raportată la presiunea dinamică pentru diferite valori ale numărului Mach, în funcţie de diametrul orificiului.

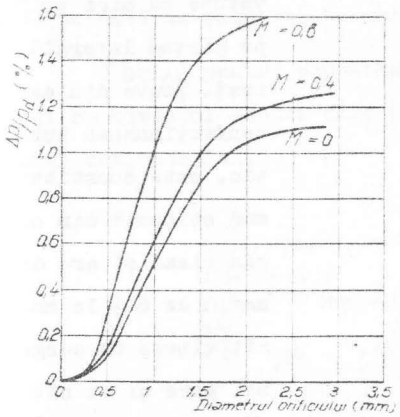


Fig. 6.41. Influenţa diametrului orificiului asupra erorii relative $\frac{\Delta p}{p_d}$ % pentru fluide compresibile.

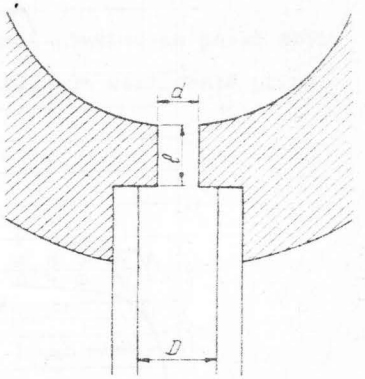


Fig.6.42. Geometria orificiului pentru priza de presiune statică (D ≃2d; o,5< l/d <6,o).

Deşi nu pot fi date reguli generale relativ la construirea şi modul de comportare ale acestor orificii, totuşi, este bine să se ţină seama în afara celor menţionate şi de alte recomandări. Astfel, experienţele lui Shaw arată că pentru o ţeavă cu flux turbulent incompresibil şi pentru o valoare a diametrului orificiului găurii egală cu 1/1o din valoarea diametrului ţevii, eroarea la determinarea presiunii statice ajunge pînă la 1% din valoarea medie a presiunii dinamice pentru un număr Reynolds egal cu 2×10^5, iar Rayle arată că pentru orificii cu diametrul de cca o,75o mm şi o adîncime l = o,375 mm (fig. 6.42), se obţine aproximativ presiunea statică adevărată [1] .

6.11.2.2. Tuburi statice

Tuburile statice sînt confecţionate sub forma unor ţevi cu cot (fig.6.43). Aceste tuburi sînt închise la capătul braţului care se fixează paralel cu direcţia de curgere şi sînt prevăzute cu mici orificii pe partea laterală a acestui braţ. Ţeava din care se confecţionează tubul static, este constituită în mod obişnuit din cupru sau alamă şi are diametrul maxim de 8 ÷ 10 mm. Cu cît viteza de curgere este mai mare şi cu cît secţiunea de curgere este mai redusă, diametrul tubului static trebuie să aibă valori mai reduse.

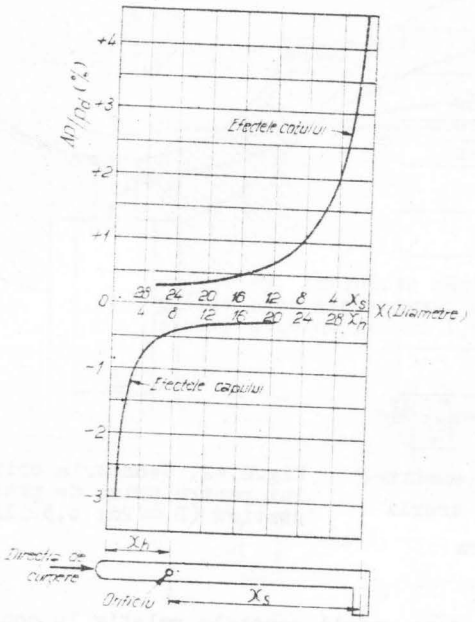


Fig. 6.43. Caracteristicile tubului static în funcţie de poziţia orificiilor (X_s şi X_h).

Exactitatea măsurării presiunii statice cu ajutorul acestor tuburi depinde în primul rînd de poziţia orificiilor de priză a acestei presiuni în raport cu capul şi cotul tubului. In fig. 6.43 sînt ilustrate grafic efectele contrare care le au asupra erorii relative de măsurare a presiunii statice, în raport cu presiunea dinamică, distanţele de la axul orificiilor la capul, respectiv, cotul tubului static.

O construcţie satisfăcătoare de tub static are 4 orificii (cu diametrul de cca 1 mm) dispuse la 90° în acelaşi plan situat

la distanţa (X_h) de 5 ori diametrul tubului faţă de cap şi la distanţa (X_s) de 15 ori diametrul tubului faţă de cot.

Tuburile statice prezintă avantajul că la punctul de măsură nu pot să apară bavuri, iar prin poziţionarea corectă a ţevii paralel cu curentul de fluid se pot obţine indicaţii corecte dacă se respectă recomandările date.

O priză pentru captarea presiunii statice se poate obţine şi cu ajutorul sondei disc (fig.6.44) care utilizează principiul compensaţiei.

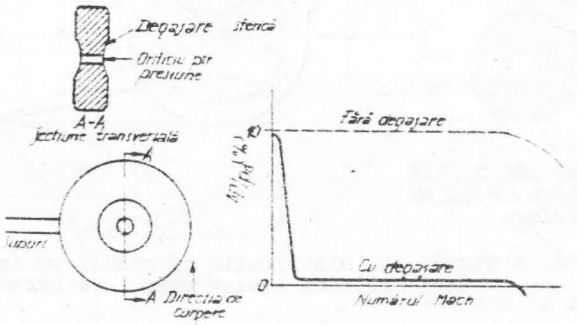


Fig. 6.44. Sonda disc şi caracteristicile ei.

6.11.2.3. Sonde aerodinamice

Precizia la măsurarea presiunii statice cu ajutorul orificiilor practicate în corpuri de formă aerodinamică depinde de exactitatea aşezării, mărimea orificiilor şi de direcţia şi variaţia direcţiei fluxului.

Un tub cilindric aşezat normal pe direcţia fluxului este un tip reprezentativ de astfel de sonde. Distribuţia actuală a presiunii pe suprafaţa cilindrului este cunoscută (fig. 6.45), existînd un unghi critic făcut de direcţia fluxului şi axul ori-

ficiului pentru care presiunea sesizată este presiunea statică. Figura 6.46 ilustrează variaţia unghiului β în funcţie de numărul Mach pentru diferite valori ale lui d/D.

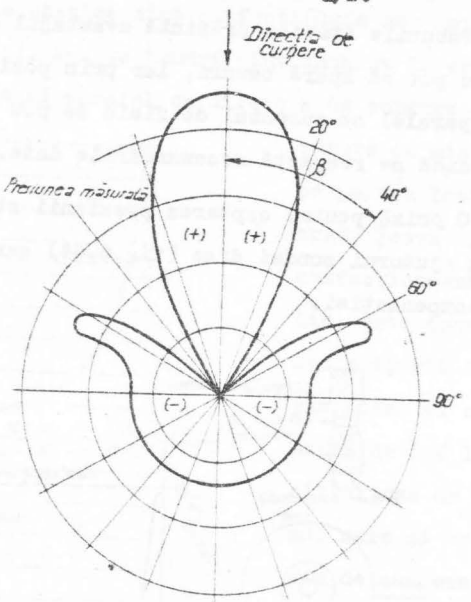


Fig. 6.45. Distribuţia presiunii pe suprafaţa unui cilindru aşezat normal la curent.

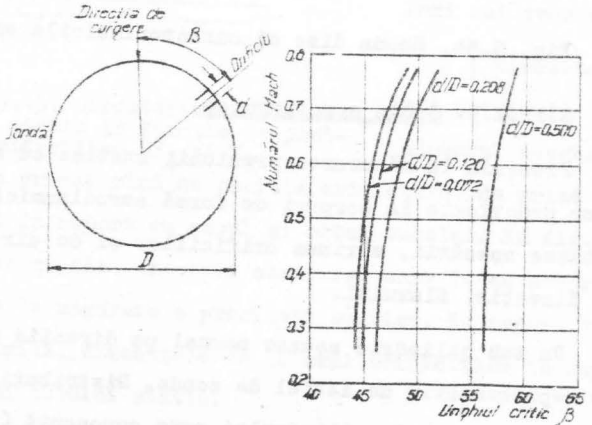


Fig. 6.46. Variaţia unghiului β în funcţie de M pentru diferite valori ale lui d/D.

In fig. 6.47 se arată modul în care influenţează aşezarea sondei şi numărul lui Mach valoarea raportului dintre presiunea statică adevărată şi valoarea presiunii preluată la priză. Poziţionarea corectă a sondei se poate realiza,dacă se practică în acelaşi plan pe suprafaţa cilindrică două orificii a căror axe fac între ele aproximativ dublul unghiului critic şi se roteşte sonda până când manometrul (sau tubul cu bula de aer) legat la orificiu, indică presiuni identice.

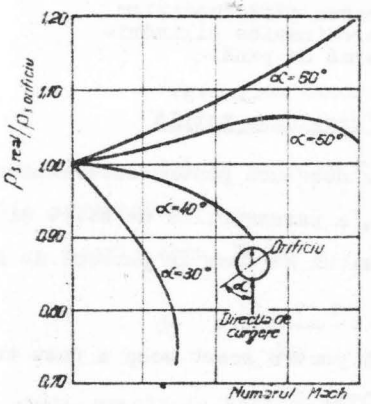


Fig. 6.47.Curbe de calibrare care evidenţiază efectul unghiului dintre axul orificiului şi direcţia fluxului în funcţie de M .

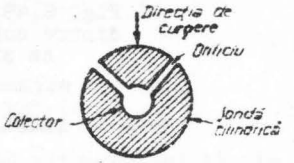


Fig. 6.48. Sondă cilindrică cu două orificii cuplate.

Sonda a cărei secţiune este arătată în fig. 6.48 , prezintă avantajul că, pentru variaţii nu prea mari ale unghiului de poziţie α creşterea de presiune exercitată la un orificiu compensează scăderea presiunii la celălalt orificiu.

In fig. 6.49 se arată comparativ performanţele obţinute cu o sondă aerodinamică cilindrică şi cu o sondă în formă de pană.

Deşi performanţele obţinute cu sonda aerodinamică sub formă de pană ascuţită sînt superioare, totuşi,această pană fiind mai puţin rezistentă în raport cu cilindrul datorită fragilităţii muchiei ascuţite,nu se va putea utiliza la unele măsurări.

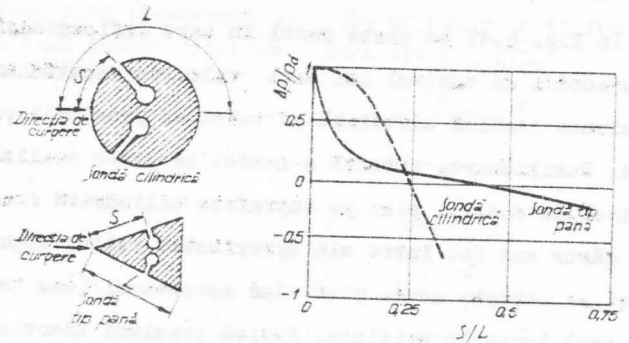


Fig. 6.49. Compararea performanţelor dintre sondele aerodinamice cilindrice şi sub formă de pană.

6.11.3. Sonde pentru presiunea totală

Presiunea totală este necesară pentru determinarea pierderii de presiune, a vitezei, a parametrilor de stare şi a debitelor. Măsurarea acestei presiuni se face în punctul de frînare al curentului de fluid.

Prima sondă realizată pentru acest scop a fost tubul Pitot descris de H.Pitot în 1732.

Presiunea totală poate fi preluată şi cu ajutorul orificiilor amplasate în punctele de frînare ale corpurilor aerodinamice ca sfera şi cilindrul (fig. 6.5o).

In toate cazurile se poate presupune că frînarea fluidului are loc foarte rapid în vecinătatea orificiilor pentru priza presiunii totale, încît transferul de căldură şi efectele de frecare pot fi neglijate. Deci, aşa cum s-a mai arătat (v.6.11.1), în vecinătatea prizei procesul se poate considera izentropic.

Indicarea presiunii totale este influenţată de variaţiile numărului Reynolds, de numărul lui Mach, de geometria

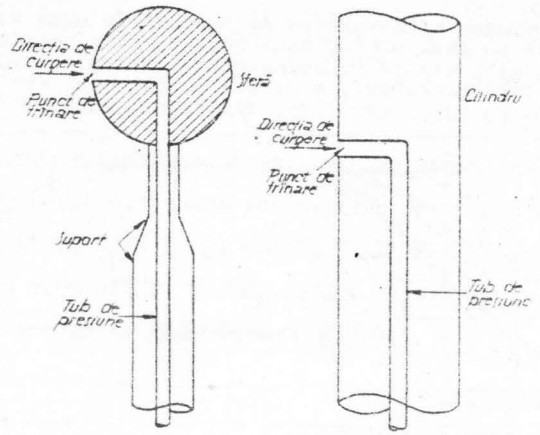


Fig. 6.5o. Sonde aerodinamice pentru presiunea totală.

sondei şi de modul în care se realizează aliniamentul cu direcţia curentului.

Coeficientul Pitot :

$$Cp = \frac{p_{ti} - p}{p_d} \qquad (6.49)$$

(p_{ti} este presiunea totală indicată iar p şi p_d au semnificaţia cunoscută) este egal cu unitatea în condiţiile uzuale de curgere.

Factorii care influenţează coeficientul Pitot includ efectul geometric asociat cu abaterea sondei de la paralelismul cu direcţia curentului, efectele viscozităţii la numere scăzute a lui Reynolds şi efectul gradientului de presiune transversal din vecinătatea orificiului pentru presiunea totală.

Referitor la efectul geometriei sondei, se menţionează că, direcţia fluxului nefiind întotdeauna cunoscută cu precizie, este convenabil să se utilizeze un tub pentru presiunea totală, care în general nu este prea mult influenţat de aşezarea paralelă. Numind unghi de atac, unghiul format de direcţia de

curgere și axul orificiului pentru priza presiunii totale (axul tubului Pitot), se arată în fig.6.51 variația indicații

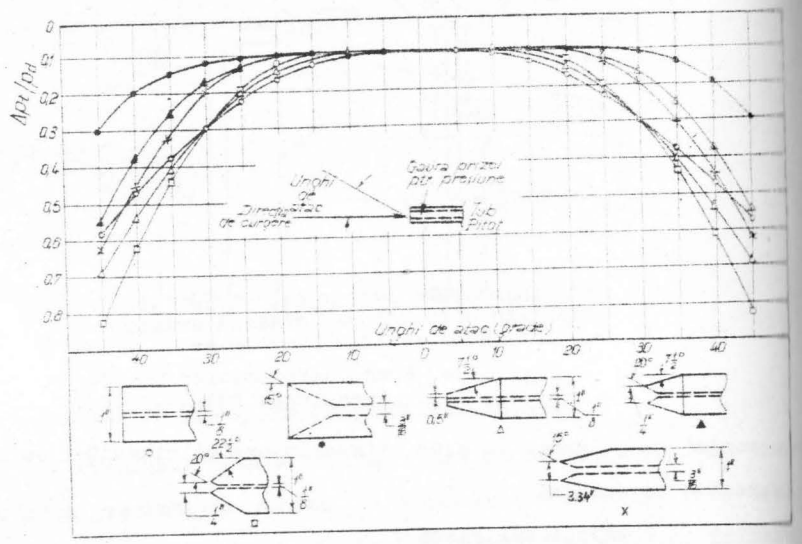


Fig. 6.51. Variația indicațiilor presiunii totale în funcție de unghiul de atac și geometria tuburilor Pitot, raportată la presiunea dinamică.

lor presiunii totale în funcție de acest unghi pentru diferite geometrii ale tubului Pitot [1] . In fig. 6.52 este arătat

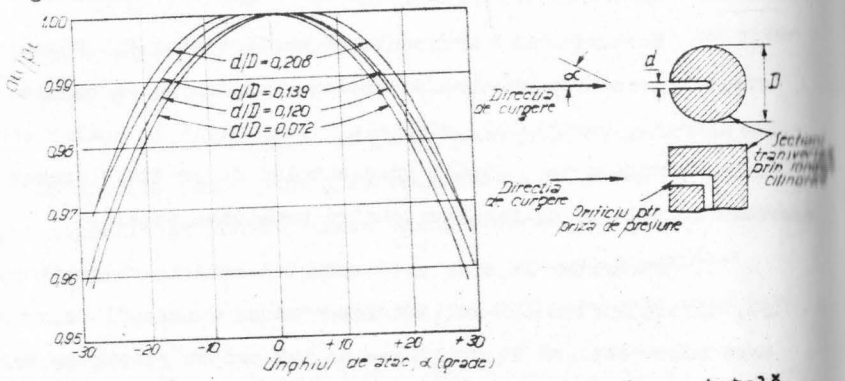


Fig. 6.52. Variația raportului dintre presiunea totală indicată (p_{ti}) și presiunea totală (p_t) în funcție de unghiul de atac și de dimensiunile relative ale sondei cilindrice.

modul în care unghiul de atac și dimensiunile constructive ale sondei cilindrice așezate perpendicular la direcția de curgere influențează valoarea presiunii totale indicate (p_{ti}).

In ceea ce privește efectul viscozității se afirmă [1] că, pentru $Re > 5o$ influența acesteia nu afectează tubul Pitot (pentru $R_e > 1ooo$, $C_p = 1$ și pentru $5o < R_e < 1ooo$, C_p este cuprins între o,99 și 1). Pentru valori $R_e < 1o$ efectul viscozității este extrem de important (fig.6.53).

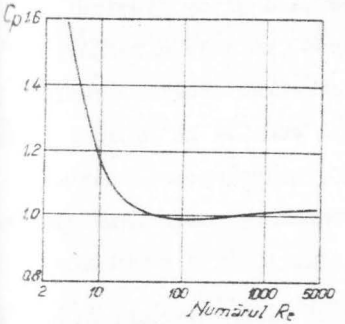


Fig. 6.53. Influența viscozității asupra coeficientului Pitot.

6.11.4. Efectele turbulenței

Turbulența este un fenomen dezordonat în ceea ce privește fluctuațiile vitezei care se suprapun peste viteza medie.

Ambele sonde utilizate pentru indicarea presiunilor totală și statică sînt afectate de turbulența din vîna de fluid, acestea indicînd valorile :

$$p_{ti} = p + \frac{\rho W^2}{2} + \frac{\rho (W')^2}{2} \qquad (6.5o)$$

și

$$p_i = p + \frac{\rho (W')^2}{2} \qquad (6.51)$$

unde, în afara mărimilor cunoscute, W' reprezintă valoarea medie eficace a componentei axiale a vitezei de vîrtej, iar p_{ti} și p_i reprezintă presiunea totală indicată și respectiv presiunea statică indicată.

Deoarece componența vitezei datorită turbulenței, W', poate atinge pînă la 2o% din W, rezultă că termenul din relațiile (6.5o) și (6.51) care conține această mărime poate atin-

ge 4% din p_d. La determinarea vitezei medii, intervenind diferenţa $p_{ti} - p_i$, efectul turbulenţei nu va apare.

6.12. Indicatoare de diagrame

6.12.1. Generalităţi

Indicatoarele de diagrame sînt aparate sau instalaţii care permit determinarea presiunilor agentului de lucru care evoluează în interiorul maşinilor termice cu piston (cu mişcare alternativă sau rotativă) precum şi a altor presiuni variabile în timp, în funcţie de unghi, cursă (la cele alternative) sau timp. Inregistrarea grafică a variaţiei acestei presiuni pentru un ciclu de funcţionare a maşinii termice în funcţie de una din mărimile de care s-a amintit (α, s, t) poartă denumirea de diagramă indicată. Presiunea determinată cu aceste aparate se numeşte presiune indicată.

Diagrama indicată serveşte multor scopuri dintre care amintim : determinarea puterii indicate, studiul desfăşurării procesului de lucru din maşina termică, studiul distribuţiei, determinarea începutului arderii, determinarea gradului de creştere a presiunii, determinarea exponenţilor politropici de compresiune şi de destindere etc.

Cu ajutorul acestor aparate sau instalaţii se pot determina mărimile presiunilor fluidelor care înregistrează variaţii rapide în timp, cum se întîmplă, de exemplu, la sistemul de injecţie cu combustibil lichid la motoarele cu ardere internă cu piston.

Indicatorul este unul din cele mai vechi[x] aparate utilizate pentru investigarea proceselor din maşinile termice fi

[x] Indicatorul Watt, fără înregistrare a apărut în anul 1793 pentru măsurarea presiunilor subatmosferice din maşinile cu abur.

în prezent unul din principalele aparate utilizate în cercetare.

In funcţie de scop indicatoarele pot fi : de ciclu, de presiune maximă şi de presiune medie.

6.12.2. Indicatoare de ciclu

Deşi denumite astfel, aparatele şi instalaţiile care fac parte din această grupă, se pot utiliza şi pentru determinarea variaţiei presiunii în timp şi măsurarea acestor presiuni variabile la studierea altor procese, decît cele întîlnite la studiul ciclului de funcţionare a maşinilor termice, ca de exemplu, studiul pompajului la încercarea unei sulfante centrifugale, studiul loviturii de berbec pe o conductă etc.

Aceste indicatoare, care reprezintă categoria cea mai numeroasă de aparate şi instalaţii, se clasifică după sistemul de transmitere a impulsurilor de la traductor la înregistrator în : mecanice, optice, electrice şi stroboscopice.

6.12.2.1. Indicatoare mecanice

La aceste aparate elementul de măsurat îl constituie un piston supus pe o faţă acţiunii presiunii fluidului de lucru din maşina termică, contrabalansat de un resort.

Pentru ca diagrama ridicată cu un astfel de indicator să reprezinte cît mai fidel presiunile proceselor de lucru din interiorul maşinii termice, este necesar ca dispozitivele de detectare şi transmitere să poată urmări variaţiile rapide ale presiunilor din cadrul acestor procese. In acest scop se impune o cît mai ridicată valoare a frecvenţei proprii pentru masele mobile ale indicatorului. Astfel, plecînd de la relaţia :

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}} \quad [Hz] \qquad (6.52)$$

cu ajutorul căreia se calculează frecvenţa oscilaţiei libere a

unui sistem elastic, se constată că, un indicator bun trebuie să aibă un arc cu o masă m cît mai mică şi un coeficient de rigiditate K cît mai ridicat. Aceste este motivul pentru care arcul elicoidal a fost înlocuit astăzi aproape în totalitate cu arcul - bară, construit sub forma unui solid de egală rezistenţă.

In fig. 6.54 este arătată schema indicatorului mecanic tip Maihak prevăzut cu arc - bară. Dacă pe tamburul 3 antrenat în mişcare de rotaţie cu ajutorul unei legături la tija pistonului, este fixată hîrtia pentru diagramă, se va obţine pe aceasta, diagrama indicată p = f(s) deoarece vîrful braţului înregistrator se deplasează în timpul înregistrării diagramei în lungul axului tamburului, proporţional cu valoarea presiunii fluidului de lucru care acţionează asupra pistonului 5 .

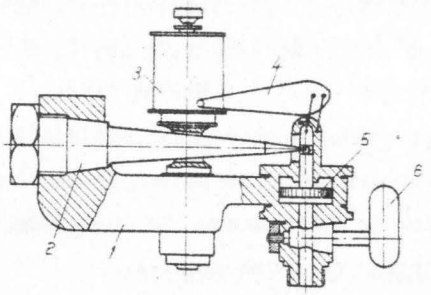


Fig. 6.54. Schema indicatorului mecanic tip Maihak.
1 - corpul indicatorului ;
2 - arcul - bară ; 3 - tamburul rotitor ; 4 - braţ înregistrator ; 5 - piston ; 6 - robinet .

Aceste aparate se pot utiliza pînă la turaţii de 2000÷2500 rot/min.

Cînd se lucrează cu un astfel de aparat, este necesar ca acesta să fie pregătit în funcţie de posibilităţile de racordare la maşina care se studiază şi să fie etalonat [2] .

Printre dezavantajele acestor indicatoare se menţionează domeniul de turaţie coborît, înregistrarea unor oscilaţii parazite

care apar datorită plasării sale direct pe maşina termică, introducerea unui volum suplimentar datorită canalului de racord la cilindru care modifică raportul de comprimare (mai ales la valori mici ale cilindreei) etc.

6.12.2.2. Indicatoare optice

La aceste indicatoare sistemul de pîrghii de scriere este înlocuit printr-un sistem optic, care permite o amplificare mare a deplasării unui spot luminos în raport cu deplasarea elementului deformabil sub acţiunea presiunii. In construcţia acestor indicatoare se utilizează foarte des, o membrană de formă bilă, sub acţiunea presiunii, care îndeplineşte atît rolul de piston cît şi de resort al indicatorului studiat anterior. In felul acesta, se obţine un aparat cu mase mobile foarte reduse, favorabile frecvenţei mari a oscilaţiilor libere, pentru încercarea maşinilor termice rapide.

In fig. 6.55 se arată schema principală de funcţionare a indicatorului optic cu resort sub formă de grindă cu capetele încastrate. La acest indicator, sub influenţa presiunii agentului de lucru din cilindru, membrana 1, se deformează încovoind grinda resort, 2, de care este legată printr-o tijă, 3. In felul acesta, unghiul dintre oglinzile 4 şi 5 variază, iar punctul luminos, S, de la sursa S se va deplasa paralel cu axul tamburului înregistrator, 8, pe care se află înfăşurată o hîrtie fotosensibi-

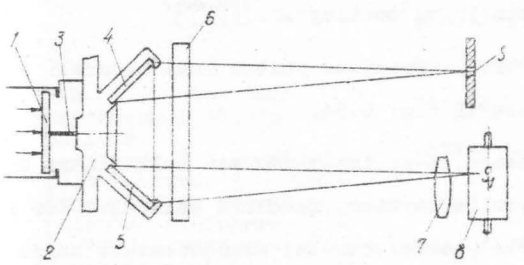


Fig. 6.55. Schema de principiu a indicatorului optic cu resort sub formă de grenadă cu capete încastrate.

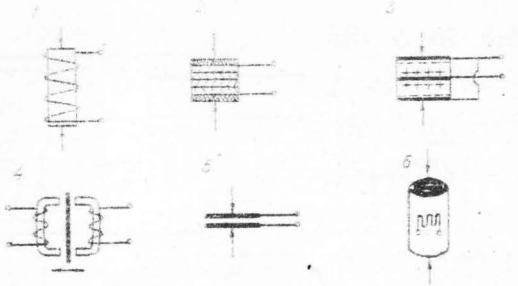


Fig. 6.56. Scheme principiale de traductoare pentru indicatoare electrice.
1 - traductor magnetoelastic; 2 - traductor cu doză de cărbune; 3 - traductor piezoelectric; 4 - traductor inductiv; 5 - traductor capacitiv; 6 - marcă tensometrică.

zat, implică un număr mare de circuite intermediare provocînd dificultăţi la etalonare. Din acest motiv ele se pot utiliza numai pentru aprecierea calitativă a unor procese.

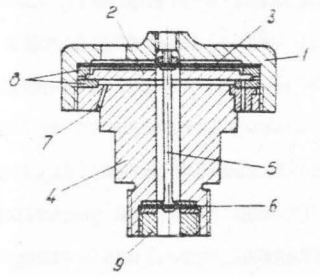


Fig. 6.57. Secţiune printr-un traductor capacitiv.
1 - corp; 2 - armătură fixă izolată; 3 - armătura mobilă; 4 şi 9 - piese de strîngere; 5 - tijă; 6 - membrană; 7 - canal de răcire; 8 - izolaţii.

Traductoarele care urmează să se fixeze la maşina termică sînt prevăzute cu răcire cu apă sau aer. In fig. 6.57 este arătată secţiunea printr-un traductor de tip capacitiv, iar în fig. 6.58 este redată schema instalaţiei pentru ridicarea diagramei p - v cu un astfel de traductor.

Semnalul electric datorat variaţiei capacităţii traductorului de presiune este prelucrat, amplificat şi apoi este condus la perechea de plăci (electrozi), a tubului catodic care este situată pe direcţia verticală. In felul acesta, fascicului electronic care pleacă de la catod este deviat pe direcţia verticală de cîmpul electric care există

lă. Datorită dublei reflexii la care este supus spotul luminos, indicatorul este insensibil la vibraţiile motorului. Pentru marcarea poziţiei pistonului pe hîrtia fotosensibilă, raza luminoasă se întrerupe la intervale determinate, cu ajutorul unui dispozitiv special, antrenat în mişcare de arborele maşinii.

Indicatorul prezentat este unul din cele mai perfecţionate indicatoare optice, deoarece vibraţiile şi temperatura agentului de lucru care acţionează asupra membranei au influenţe cu totul neglijabile asupra formei diagramei, iar partea de înregistrare suportă deformaţii foarte mici.

Aceste indicatoare nu au reuşit încă să se impună datorită lipsei lor de rezistenţă la vibraţii.

6.12.2.3. Indicatoare electrice

La aceste aparate, cu excepţia indicatoarelor fotoelectrice, presiunile se măsoară după convertirea lor într-o mărime electrică. Semnalul electric emis de convertorul mecano-electric (numit obişnuit traductor de presiune) este amplificat obţinîndu-se apoi indicaţia la un oscilograf.

Traductoarele de presiune pentru indicatoarele electrice sînt reprezentate în fig. 6.56.

Dintre acestea, s-au impus cel mai mult pentru studiul proceselor din maşinile termice, datorită calităţii lor funcţionale, traductoarele piezoelectrice, traductoarele capacitive şi traductoarele tensometrice (ultimele utilizîndu-se în punctele de măsurare unde nu sînt expuse la variaţii mari de temperatură, ca de exemplu în scopul stabilirii legii de injecţie).

Traductoarele inductive, deşi relativ simplu de reali-

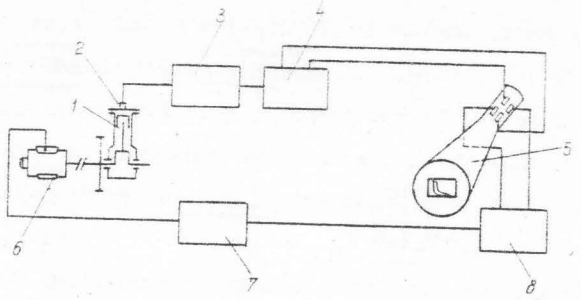


Fig. 6.58. Schema instalaţiei pentru ridicarea diagramei p-v cu un traductor capacitiv.
1 - maşină termică cu piston; 2 - traductor capacitiv de presiune; 3 - sistem de măsurare a presiunii; 4 - amplificarea pe verticală (a semnalului proporţional cu presiunea); 5 - tub catodic; 6 - traductor de cursă; 7 - convertor reactanţă - tensiune; 8 - amplificarea pe orizontală (a semnalului proporţional cu deplasarea pistonului).

între această pereche de plăci, proporţional cu presiunea şi întîlnind ecranul fluorescent al tubului, o transformă într-o urmă luminoasă. Fasciculul electronic este deviat periodic pe direcţia orizontală de către o altă pereche de plăci aşezată în plan orizontal, care primeşte semnalul electric de la un adaptor de deplasare unghiulară (traductor de cursă), după ce acesta a fost prelucrat şi amplificat sau de la un generator de baleiaj, caz în care se obţine diagrama presiune - timp.

Prelucrarea şi interpretarea diagramelor se face cu ajutorul diagramelor fotografiate.

Un indicator electric mai puţin răspîndit este indicatorul fotocatodic, la care traductorul de presiune nu este un convertor pur electric sau luminos. Caracteristic acestor indicatoare este utilizarea unor traductoare care permit aplicarea energiei luminoase pentru transmiterea impulsurilor create la sistemul de înregistrare.

La indicatorul fotocatodic prezentat schematic în

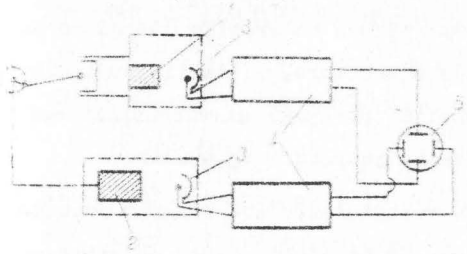


Fig. 6.59. Schema de principiu a indicatorului fotocatodic.
1 - traductorul de presiune; 2 - traductorul de cursă; 3 - celulă fotoelectrică; 4 - amplificatoare; 5 - osciloscop catodic.

fig. 6.59, variaţiile fluxului luminos, proporţionale cu variaţiile presiunii din cilindru sînt transformate de o celulă fotoelectrică în variaţii ale intensităţii curentului. Şi în acest caz, cele două traductoare (de presiune şi cursă) fiind legate prin intermediul amplificatoarelor respective la cele două perechi de plăci ale tubului catodic, se va obţine diagrama $p=f(v)$ sau $p=f(\alpha)$.

In vederea obţinerii unor diagrame a variaţiei presiunii pentru fenomenul studiat, cu erori cît mai reduse, este necesar să se respecte întocmai instrucţiunile de exploatare elaborate de firma constructoare şi de recomandările date în literatura de specialitate. Astfel, elementele care pot introduce erori sistematice la indicarea presiunilor, sînt : modul de fixare al traductoarelor de presiune şi de cursă, modul de racordare cu ajutorul cablurilor ale elementelor componente ale schemei, poziţia oscilogramei pe ecranul tubului catodic, gradul de finete a spotului luminos, scările de amplificare cu care se lucrează la obţinerea diagramelor de variaţie a presiunii, etalonarea traductoarelor etc.

Avînd în vedere cele menţionate, se recomandă ca traductoarele de presiune utilizate să fie închise cu o membrană la partea care se înşurubează la maşina termică, încît acestea să nu introducă nici o modificare a spaţiului de lucru a cilindrului. De asemenea, canalul de legătură între membrana elastică a tra-

ductorului de presiune şi spaţiul de lucru al cilindrului trebuie să fie redus la minimum, pentru ca erorile introduse datorită modificării gradului de comprimare, scăderii presiunii gazului, întîrzierii impulsului de presiune şi vibraţiile coloanei de gaz din canal, să devină cu totul neglijabile.

O atenţie deosebită trebuie acordată fixării corecte a traductorului de cursă pentru ca punctele moarte să apară corect pe diagramă în cazul ridicării diagramelor indicate. Astfel, trebuie pus de acord poziţia axului traductorului corespunzătoare punctelor extreme, cu poziţiile punctelor moarte ale pistonului.

Prin deplasarea pe diagramă a punctului mort superior cu 1^{o} RAC, eroarea la determinarea puterii indicate poate atinge 3%. Mărimea abaterii marcării punctului mort superior în condiţiile unei determinări îngrijite a acestuia, poate fi făcută pînă la $\pm$ $0{,}15^{o}$.

Suprafeţele de contact ale cablurilor de legătură trebuie curăţate înaintea executării racordurilor. De asemenea, trebuie verificată existenţa legăturilor dintre ecranul de protecţie a cablurilor şi bornelor metalice de legătură şi să se execute şi verifica punerea la pămînt a aparaturii electronice.

In vederea ridicării diagramelor indicate, aparatura electronică trebuie pusă în prealabil sub tensiune pentru a atinge gradul de încălzire.

Pentru reducerea la minimum a influenţelor vibraţiilor care se transmit în timpul funcţionării maşinii termice care se studiază, se recomandă ca instalaţia să fie montată pe amortizoare de vibraţii (arcuri, cauciuc etc.).

In scopul micşorării erorilor introduse datorită

curburii diagramelor obţinute, imaginea trebuie plasată în zona centrală a ecranului tubului catodic. Astfel, este bine ca zona centrală utilizată a ecranului să nu depăşească 7o - 8o% din întreaga suprafaţă a acestuia.

Gradul de fineţe a spotului luminos trebuie menţinut în timpul experienţelor în limite normale, adică dimensiuni cît mai reduse ale spotului, care să permită însă observarea desfăşurării fenomenului şi impresionarea materialului fotosensibil.

Pentru o apreciere cantitativă cît mai corectă a diagramelor este necesar ca etalonarea să se execute cu multă atenţie. Unele mici erori le introduce şi diferenţa de temperatură a traductorilor de presiune din timpul etalonării şi din timpul funcţionării.

6.12.2.4. Indicatoare stroboscopice

Cu ajutorul unui astfel de indicator se obţine presiunea din unul sau maximum două puncte ale aceluiaşi ciclu de funcţionare. In felul acesta, diagrama indicată obţinută reprezintă o succesiune de puncte dintr-un număr mai mare de cicluri de funcţionare, care se succed într-un anumit interval de timp. Deci, o astfel de diagramă are avantajul că oferă imaginea unui ciclu mediu de funcţionare a maşinii studiate într-un interval relativ mare de timp.

In prezent, metoda stroboscopică este utilizată numai în forma sa electropneumatică, aparatul fiind cunoscut sub numele de indicatorul Farnboro. Acest indicator, prezentat schematic în fig. 6.6o, are o construcţie relativ simplă, prezintă siguranţă în funcţionare şi se manevrează uşor în timpul lucrului. In chiulasa maşinii termice este fixat traductorul 1 prevăzut cu o membrană elastică 2 ; pe faţa inferioară a membra-

nei acționează presiunea gazelor din cilindru iar pe fața superioară acționează presiunea aerului comprimat din butelia 6.

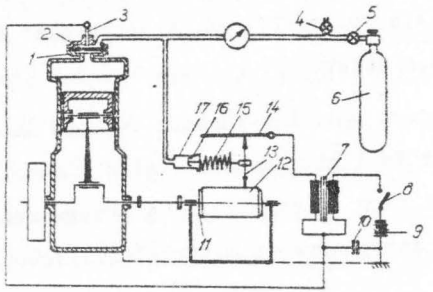


Fig. 6.6o. Schema de principiu a indicatorului Farnboro.

Traductorul de presiune este prevăzut și cu un electrod izolat, 3 , plasat în dreptul centrului membranei și cu vîrful foarte aproape de aceasta. Acest electrod este conectat cu unul din capetele înfășurării primare a bobinei de inducție 7. In circuitul primar se mai află condensatorul 1o, bateria de acumulatoare 9 și întrerupătorul 8. Presiunea aerului comprimat din butelia 6 acționează și asupra pistonașului 16 care se va deplasa în cilindrul 17 a dispozitivului de înregistrare, proporțional cu această presiune. Tamburul 11, pe care este înfășurat sulul de hîrtie 12, este antrenat în mișcarea de rotație de către arborele cotit. In felul acesta, vîrful ascuțit al piesei 13, solidarizat cu pistonașul 16, se va plimba în fața tamburului 11.

In momentul cînd presiunea din cilindrul motorului întrece cu puțin presiunea aerului comprimat, membrana se va deforma, stabilind contactul cu electrodul 3 ; în felul acesta se va închide circuitul primar al bobinei de inducție. Curentul de înaltă tensiune indus în înfășurarea secundară se scurge prin vîrful ascuțit 13 perforînd hîrtia înfășurată pe tamburul 11 legat la masă. Cînd presiunea din cilindru scade, membrana se desprinde de electrodul 3 și în acest moment se produce o nouă perforație pe sulul de hîrtie. Uneori, aceste două puncte sînt suprapuse. Prin manevrarea corespunzătoare a robinetelor 4 și 5 se poate

ridica treptat presiunea aerului comprimat, care acționează simultan asupra membranei 2 și pistonașului 16, obținînd o succesiune de puncte cu ajutorul cărora se reprezintă ciclul mediu de funcționare $p = f(\alpha)$.

Diferența între presiunile de stabilire și de desfacere a contactului este funcție de grosimea membranei. Astfel, la o membrană cu grosimea de o,1 mm diferența de presiune este de o,1 Kgf/cm^2 (o,o1 MN/m^2), în timp ce la una de o,2 mm diferența atinge o,9 Kgf/cm^2 (o,o9 MN/m^2) .

S-au realizat și traductoare de presiune pentru astfel de indicatoare, la care membrana s-a înlocuit cu un pistonaș [8] .

6.12.3. Indicatoare de presiune maximă

Aceste indicatoare se utilizează pentru determinarea presiunii maxime a ciclului sau a presiunii de la sfîrșitul compresiunii și sînt denumite uneori maximetre. Ele pot fi mecanice sau electrice, însă mai răspîndite sînt cele din prima categorie datorită simplității și volumului redus.

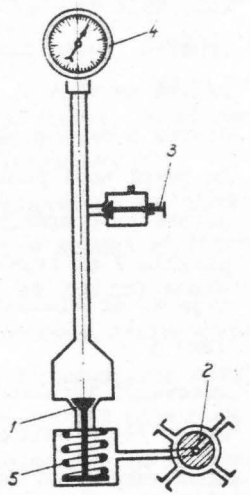


Fig. 6.61. Indicatorul Gibson.

In fig. 6.61, este arătată cea mai simplă construcție a unui astfel de indicator de tip mecanic. In vederea măsurării cu el, se face legătura prin intermediul robinetului, 2 , cu mai multe căi, cu cilindrul care se studiază. La o anumită valoare a presiunii, supapa 1, prevăzută cu arcul 5, se va ridica și va sta deschisă pînă se depășește presiunea maximă cînd

diferenţa de presiune ce acţionează asupra supapei, suprapusă peste tensiunea elastică a arcului, închide supapa. Pe cadranul manometrului, 4 , de tip Bourdon,se va putea citi presiunea maximă maximorum a tuturor ciclurilor de funcţionare din timpul măsurării.

Indicaţiile acestui aparat sînt afectate de eroarea produsă de scurgerea gazelor, în faza destinderii pe lîngă supapa 1, care nu se poate închide instantaneu la atingerea presiunii maxime.

6.12.4. Indicatoare de presiune medie

Aceste aparate indică valoarea medie a ordonatei diagramei presiune-timp. Unul din aceste aparate este indicatorul Geiger a cărui schemă funcţională este prezentată în fig. 6.62.

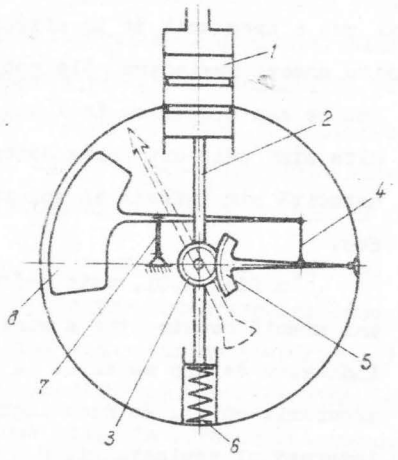


Fig.6.62. Indicatorul tip Geiger.

Elementele sale componente sînt : pistonaşul 1 pe care acţionează presiunea gazelor, tija de legătură 2 cu arcul 6, roata dinţată 3 fixată de tija 2, sectorul dinţat 5 care poate oscila în jurul unui punct fix şi greutatea 8 sprijinită pe pîrghia 7 şi legată prin tija 4, de elementul oscilant 5 .

Frecvenţa impulsurilor aplicate, fiind mult mai mare decît frecvenţa oscilaţiei libere a masei suspendate 8, aceasta nu va mai putea urmări variaţia presiunii, ci se va stabili într-o poziţie de mijloc, corespunzătoare valorii medii a presiunii aplicate.

6.13. Montarea aparatelor de măsurat presiuni

In afara unor recomandări privind montarea aparatelor sau traductoarelor de presiune de care s-a amintit în acest capitol,este necesar ca, în general, la montare să se ia în considerare toate elementele care ar putea conduce la un rezultat eronat. Astfel, manometrele trebuie să fie montate în acea poziţie în care au fost verificate şi ajustate. Acolo,unde pot apărea şocuri bruşte ale presiunii, se vor prevedea dispozitive de reducere (drosele) care să preia aceste şocuri. In vederea protejării aparatelor de măsurat contra temperaturilor prea ridicate, se vor intercala între aparat şi locul de priză conducte de legătură de o lungime corespunzătoare sau bucle hidraulice (fig. 6.63) care pot împiedica şi intrarea aburului viu în aparatul de măsurat, în cazul măsurării presiunii acestuia. De asemenea, trebuie avut grijă ca, conductele de legătură între locurile de priză şi aparat să fie perfect etanşe.

Fig.6.63. Manometru cu obturator hidraulic.

In cazul măsurării presiunilor puternic oscilante cu modificări rapide în timp, conductele de legătură între aparat şi priza de presiune (conductele de priză), trebuie să fie mai scurte şi să posede o secţiune suficient de mare, pentru a evita trepidaţiile.

La măsurarea presiunii într-un rezervor cu apă (fig.6.64) sau în cazul conductelor de legătură umplute cu apă (sau alte lichide),trebuie ţinut seama de influenţa coloanei de

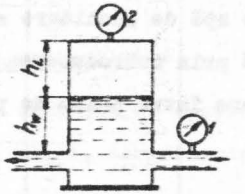


Fig.6.64. Măsurarea presiunii într-un rezervor cu apă.

lichid. Astfel, dacă ne referim la exemplul schematizat în fig. 6.64 presiunea p_1, indicată de manometrul 1, este mai mare decît presiunea indicată p_2, indicată de manometrul 2, deoarece asupra manometrului 1 acţionează şi presiunea suplimentară cauzată de coloana de apă (p_w) şi coloana de aer (p_L). Deci, presiunea indicată de manometrul 1 va fi :

$$p_1 = p_2 + (p_w + p_L) \qquad (6.53)$$

Coloanele de gaze care nu au înălţimi prea mari, se pot neglija în majoritatea cazurilor.

Si în cazul cazanelor de apă sau abur pot apare erori considerabile la măsurarea presiunilor, deoarece, în aceste cazuri există uneori diferenţe mari de înălţime. Astfel, este posibil ca priza de presiune să se găsească la tamburul cazanului, în timp ce manometrul este coborît deseori la nivelul platformei fochistului. In aceste cazuri, în conformitate cu schemele de măsurare indicate în fig. 6.65, este necesar ca din indicaţia manometrului să se scadă presiunea datorată înălţimii coloanei de apă h_w :

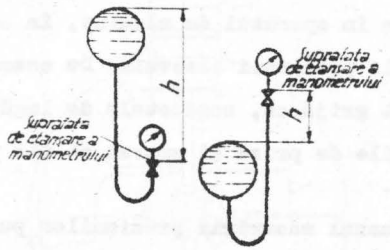


Fig. 6.65. Corecţia indicaţiilor unui manometru datorită coloanelor de apă.

In cazul măsurărilor foarte exacte, se impune ca, coloana de apă de închidere să rămînă constantă. Acest lucru se realizează prin introducerea unei cale de condens ca rezervor de deversare între priza de presiune şi aparatul de măsurat (fig.6.66).

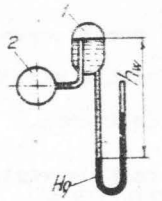


Fig. 6.66. Manometru cu oală de condensat.
1 - oală de condensat ;
2 - conductă de abur.

6.14. Verificarea aparatelor pentru măsurat presiunea

Această verificare constă dintr-un ansamblu de operaţiuni prin care se constată dacă aparatul de măsurat, de lucru, corespunde prescripţiilor legale pentru caracteristicile lui de construcţie şi funcţionare.

Frecvenţa verificărilor este reglementată atît de acte normative legale cît şi de instrucţiuni interne care depind de destinaţia aparatului. Metodele şi mijloacele de verificare, precum şi condiţiile tehnice pe care trebuie să le îndeplinească aparatele sînt prescrise în standardele de stat sau în instrucţiunile de verificare elaborate de Direcţia generală pentru metrologie şi standarde [3] .

Operaţiile principale şi comune, pentru verificarea tuturor aparatelor de măsurat presiuni de lucru sînt :

- verificarea aspectului exterior şi al construcţiei;
- verificarea etanşeităţii ;
- verificarea funcţionării sau a indicaţiilor.

La unele aparate se mai adaugă : verificarea dispozitivului de înregistrare, verificarea semnalizării, verificarea nivelului etc.

Se menţionează că la verificarea indicaţiilor, se verifică în principal caracteristicile metrologice ale aparatului şi în special justeţea şi fidelitatea.

Aparatele etalon cu care se verifică diferitele categorii de aparate de lucru sînt indicate în schema de transmitere a unităţii de presiune [3] .

In afara aparatelor etalon, principalul utilaj de verificare al aparatelor de măsurat presiunea îl reprezintă dispozitivele care creează presiunea (suprapresiunea sau depresiunea).

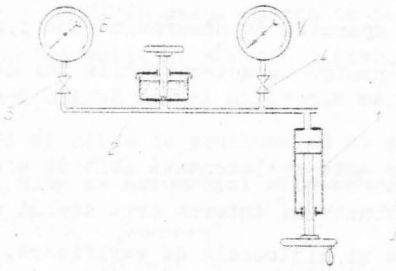


Fig. 6.67. Pompă simplă pentru verificarea manometrelor.

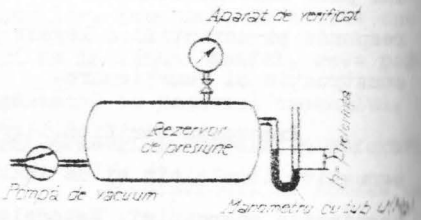


Fig. 6.68. Instalaţie pentru verificarea unui vacuummetru

In fig. 6.67 este reprezentată schema de principiu a unei instalaţii de verificat manometre prevăzută cu o pompă simplă 1 şi un rezervor 2 umplut cu lichid de lucru ; manometrul etalon E şi manometrul care se verifică se fixează etanş la cele două racorduri putîndu-se izola de comunicaţii şi pompă prin intermediul robinetelor 3 şi 4 .

In fig. 6.68 este reprezentată o instalaţie pentru verificarea (etalonarea) unui vacuumetru. Dacă temperatura mediului înconjurător nu este egală cu temperatura de etalonare a manometrului cu tub U , trebuie făcută corecţia [2] .

- BIBLIOGRAFIE -

1. Benedict R.P. — Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements, Ed. J. Willey & Sons, New - York, 1969.

2. Tölle, H. — Măsurări în instalaţii termice. Ed. Tehnică, Bucureşti 1972.

3. Penescu, T şi Petrescu, V. — Măsurarea presiunii în tehnică. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1968.

4. Doebelin, E.O. — Measurement Systems : Applications and Dosign. Ed. Mc. Graw-Hill, New-York, 1966.

5. Grave, H.F. — Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1966.

6. Ouziaux, R şi Perrier, J. — Mécanique des fluides appliquée Tome II. Fluides compressibles. Aérodynamique-mesures. Ed. Dunod, Paris, 1967.

7. Rebuffet, P. — Aérodynamique expérimentale. Tome I. Ed. Dunod, Paris, 1969.

8. Сороко-Новицкий, Б.П. Испытания автотракторных двигателей, Машгиз, Москва, 1960

9. Stratulat, M şi Munteanu, S.D. — Incercarea motoarelor cu ardere internă. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1966.

Capitolul 7

MĂSURAREA VITEZELOR FLUIDELOR

7.1. Generalităţi

In multe studii experimentale este necesar să se determine viteza locală sau viteza medie de curgere a fluidului. De asemenea, uneori, este necesar să se determine şi direcţia vitezei într-un punct.

Măsurările de viteze se pot efectua cu : sonde şi prize de presiune, anemometre, termoanemometre, sonde ionice, metode electromagnetice, metoda cu izotopi radioactivi, metoda cronofotografiei etc.

De asemenea, viteza medie se va putea determina întotdeauna cînd se dispune de indicaţiile unui debitmetru.

In cadrul unor experienţe (efectuate mai ales asupra modelelor)direcţiile vitezelor se pot pune în evidenţă cu ajutorul unor fire subţiri din lînă sau mătase fixate în diferite puncte ale curentului sau cu ajutorul suspensiilor introduse în curent (la experienţele cu posibilităţi de vizualizare).

In cele ce urmează se vor trata metodele utilizate pentru măsurările de viteze.

7.2. Metoda sondelor şi prizelor de presiune

Principiul metodei se bazează pe relaţia (6.39) care exprimă că,pentru un fluid în mişcare,suma dintre presiunea st

tică şi cea dinamică este egală cu presiunea totală,în ipoteza că curgerea se efectuează fără frecări la o aceeaşi cotă.

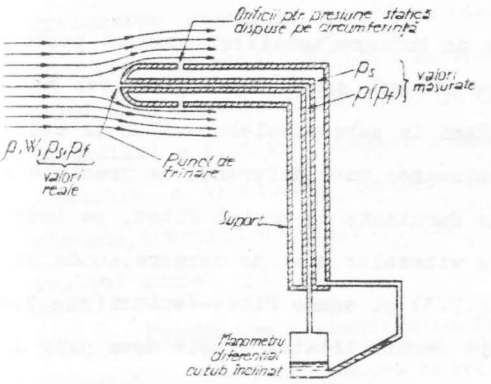


Fig. 7.1. Schema principială de măsurare cu tubul Pitot.

Astfel, dacă se consideră schema principială de măsurare cu tub Pitot reprezentată în fig. 7.1, viteza de curgere pentru un fluid necompresibil, obţinută cu ajutorul relaţiei (6.43), este :

$$W = \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_t - p)} \qquad (7.1)$$

şi viteza de curgere pentru un fluid compresibil, obţinută cu ajutorul relaţiei (6.4o), este :

$$W = \sqrt{\frac{2K}{K-1}\frac{p}{\rho}\left[\left(\frac{p_t}{p}\right)^{\frac{K-1}{K}} - 1\right]} \qquad (7.2)$$

Relaţia (7.2) se poate utiliza pentru regimuri de curgere subsonice la care $M < 1$.

In cazul regimurilor de curgere la care $M > 1$, în tubul Pitot se formează o undă de şoc de compresiune (fig.7.2). Intre această undă de şoc şi capătul tubului (unde viteza devine zero), viteza este subsonică. Cu ajutorul următoarei relaţii [1] se poate calcula,în astfel de regimuri de curgere,numărul M şi prin urmare viteza :

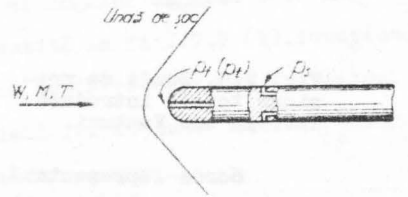


Fig. 7.2. Sondă de măsură introdusă într-un curent supersonic.

$$\frac{p_t}{p_s} = M^2\left(\frac{K+1}{2}\right)^{\frac{K}{K-1}}\left[\frac{2KM^2 - K + 1}{M^2(K+1)}\right]^{-\frac{1}{K-1}} \qquad (7.3)$$

Măsurarea presiunilor de frînare(totală)și statică poate fi efectuată combinat,cu o singură sondă(fig.7.1)sau,cel mai corect separat, așa cum s-a arătat în subcapitolele 6.11.2 și 6.11.3. De asemenea, pentru obținerea unor diferențe de presiune mai mari în raport cu cele furnizate de un tub Pitot, se întrebuințează,pentru măsurarea vitezelor mici de curgere,sonda sub formă de tub Venturi (fig.7.3) și sonda Pitot-Venturi(fig.7.4)(utilă în hidraulică), la care sensibilitatea crește ușor prin înlocuirea prizei pentru presiunea statică cu o priză pentru presiune totală.

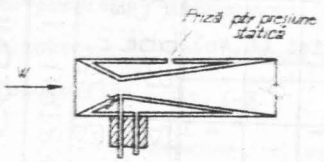


Fig. 7.3. Sondă de tip tub Venturi.

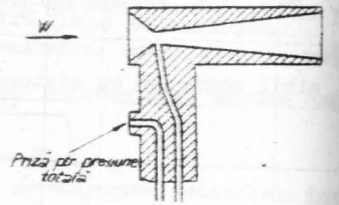


Fig. 7.4. Sonda Pitot - Venturi

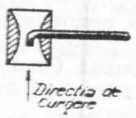


Fig. 7.5. Sondă de presiune totală introdusă într-un tub Venturi.

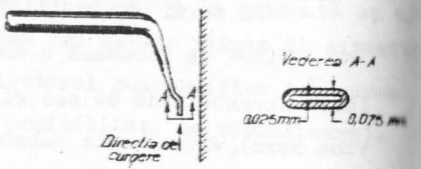


Fig. 7.6. Sondă pentru stratul limită.

Sonda reprezentată în fig. 7.5 se poate utiliza atît în regimuri de curgere subsonice cît și în regimuri supersonice, ea fiind insensibilă la deviații ale axei sondei față de direcția de curgere,pînă la valori ale acestui unghi (unghi de atac) de ±5° [1] .

S-au realizat și sonde de dimensiuni minuscule pentru explorarea stratului limită,ca cea reprezentată în fig. 7.6. care poate fi utilizată pînă la valori M = 1. Grosimea stratului limită poate fi măsurată cu o astfel de sondă,cu o eroare de ordinul a 0,05 mm. Această sondă și aparatura asociată de măsurare a presiunii conduc la un timp mare de răspuns,datorită orificiului mic de curgere (0,025 mm) de la capătul sondei [1] .

Pentru unele studii experimentale cum ar fi,de exemplu, cercetările efectuate asupra modelelor de motoare în doi timpi, camerelor de ardere , diferitelor forme de canale de curgere etc., sînt necesare și determinări ale vitezelor și direcțiilor acestora în diferite puncte. În acest scop se utilizează diferite forme de sonde dintre care, sînt reprezentate în fig. 7.7 cîteva tipuri constructive.

Fig. 7.7 (a) reprezintă o construcție simplă cu care se poate determina înclinația unghiulară într-un singur plan. Orificiile 1 și 3 ale sondei sînt legate la un aparat care indică presiunea diferențială și se rotește sonda pînă cînd se realizează aliniamentul cu direcția curentului (la indicația zero a aparatului). Orificiul 2 indică corect presiunea dinamică numai dacă alinierea este făcută și unghiul de atac este zero. Sonda de tip gheară,reprezentată în fig. 7.7 (b),funcționează după principii similare însă se întrebuințează în regiuni unde direcția curentului se schimbă foarte mult deoarece orificiile pot fi aranjate împreună foarte aproape.

Formele constructive ale sondelor biaxiale din fig.

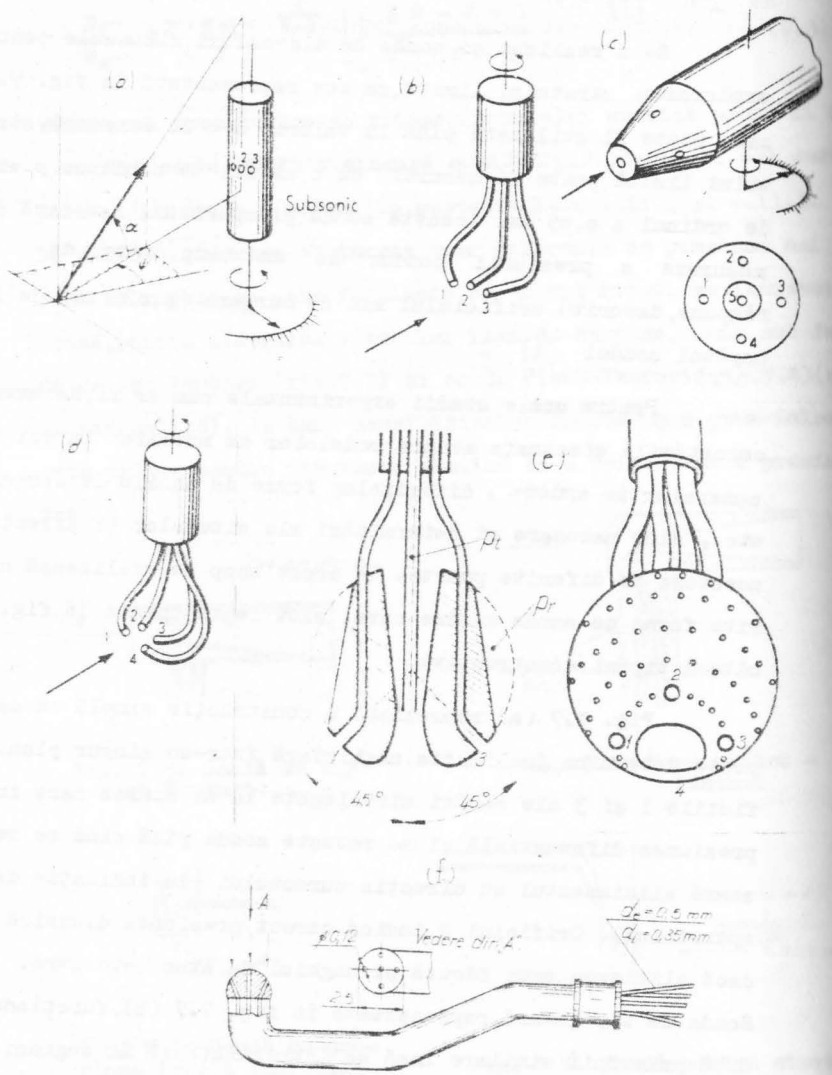


Fig. 7.7. Diferite forme constructive de sonde pentru măsurarea mărimii și direcției vitezei .

7.7 c și d permit, din punct de vedere ipotetic, rotirea în jurul fiecărui ax. Datorită complexității realizării practice a acestor operații, sondele se vor roti în jurul axului sondei până când se echilibrează presiunile preluate de la prizele 1 și 3 și apoi, cu ajutorul valorilor măsurate pentru presiunile preluate de la orificiile 2 și 4, se determină cu ajutorul tabelelor de etalonare unghiul de atac. La fel, orificiul 5 nu dă direct presiunea totală ; aceasta se va obține de asemenea, cu ajutorul tabelelor de etalonare [1] .

Sonda sferică reprezentată în fig. 7.7. e este prevăzută în partea centrală cu o porțiune convergent divergentă în care este introdus tubul sondă pentru presiunea totală, p_t . Patru orificii simetrice 1, 2, 3, 4 dispuse ca în figură, servesc pentru determinarea direcției vitezei. Un mare număr de orificii repartizate pe suprafața sferei sînt racordate la o cavitate comună și dau o presiune de referință, p_r . Experiența arată că [2] :

$$p_t - p_r = 1{,}4\,\rho\,\frac{w^2}{2} \qquad (7.4)$$

pentru înclinații ale vitezei față de axul tubului sondă care ajung până la 40°.

Cu ajutorul presiunilor diferențiale $p_1 - p_3$ și $p_2 - p_4$ se poate calcula direcția vitezei.

S-a ajuns la realizări de mici sonde de acest tip la care diametrul are 10 mm.

Pentru măsurări de viteze în spații mici de curgere, în care sondele de dimensiuni mai mari ar perturba regimul de curgere, au fost realizate semisfere de tip Pitot cu cinci orificii (fig. 7.7. f) de dimensiuni minuscule (diametrul sferei cca 2,5 mm) [9] .

Sonda reprezentată în fig. 7.7. a se poate utiliza numai pentru regimuri de curgere subsonice, iar celelalte tipuri reprezentate în figură se pot utiliza pentru regimurile subsonice şi supersonice.

In cadrul unor experienţe, direcţia vitezei se poate pune în evidenţă cu ajutorul unor fire subţiri din lînă sau mătase, fixate în diferite puncte.

7.3. Anemometre

Aceste aparate sînt constituite, în principiu, dintr-un rotor foarte uşor sub formă de morişcă antrenat într-o mişcare de rotaţie proporţională cu viteza aerului.

Cele două tipuri de astfel de aparate întîlnite în aerodinamică sînt (fig.7.8) :

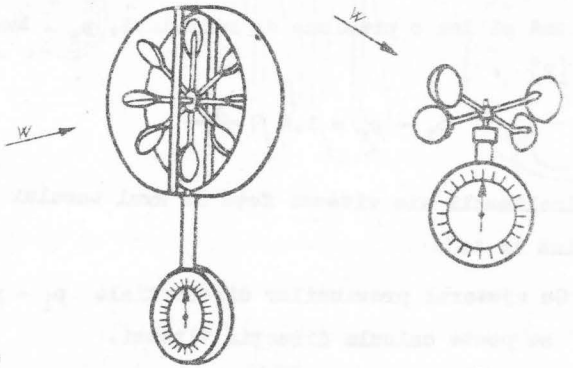


Fig. 7.8. Anemometre mecanice

- cu rotorul prevăzut cu palete la care axa de rotaţie trebuie să fie paralelă cu viteza curentului; inconvenientul este necesitatea unei orientări corecte ;

- cu rotorul prevăzut cu cupe semisferice care prezintă avantajul că indicaţiile sînt independente de direcţia curentului.

Aceste aparate sînt prevăzute obişnuit cu un contor de ture şi un cronometru.

Aceste aparate se utilizează pentru viteze mai mici (construcţiile uzuale permit măsurări pînă la viteze de ordinul a 2o m/s), rezultatele obţinute fiind destul de precise.

Anemometrele de acest tip, care sînt denumite de unii autori şi anemometre mecanice, se utilizează pentru măsurări de viteze la instalaţii de ventilaţie şi condiţionare, în unele tuneluri experimentale în care vitezele de curgere sînt mici, la determinarea vitezei aerului în tunelurile instalaţiilor frigorifice prevăzute cu circulaţie forţată a aerului etc.

Cînd se lucrează cu aceste aparate trebuie avut grijă ca ele să nu se introducă în curentul de fluid, a cărui viteză ar putea depăşi viteza maximă de măsurare pentru care s-a construit aparatul.

Aparate de construcţie similară se utilizează şi în hidraulică. Viteza de rotaţie a acestor aparate este măsurată prin intermediul unui contact electric acţionat de rotorul sub formă de elice cu ajutorul unui demultiplicator. Astfel de aparate permit măsurări de viteze ale lichidelor de la cîţiva cm/s pînă la 2o m/s. Au fost realizate construcţii de gabarit redus la care diametrul este de 3o mm şi lungimea de 7o mm [2] . Acestea sînt aparate cu care se obţine maximum de precizie pentru măsurarea vitezei locale a lichidului (1%) .

7.4. Termoanemometre

La acest procedeu de măsurare elementul sensibil la viteza curentului (traductorul de viteză) este un fir sau peliculă caldă. Dacă se consideră un fir fixat într-un anumit loc al curentului de fluid, firul fiind străbătut de un curent I ,

el se va încălzi şi va disipa,la atingerea echilibrului, o cantitate de energie dată de relaţia :

$$I^2 R_f = \alpha . A.(t_f - t_F) \qquad (7.5)$$

în care : R_f şi t_f sînt,respectiv,rezistenţa şi temperatura firului ;

t_F - temperatura fluidului ;

α - coeficientul de trecere a căldurii de la suprafaţa firului la fluid ;

A - suprafaţa firului prin care se face schimbul de căldură.

Pentru un fluid dat şi un anumit interval de viteze, coeficientul α se poate exprima printr-o relaţie de forma :

$$\alpha = C_0 + C_1 \sqrt{W} \qquad (7.6)$$

în care C_0 şi C_1 sînt constante,iar W viteza fluidului.

Deoarece coeficientul de trecere a căldurii este funcţie de viteza fluidului, temperatura firului t_f, la stabilirea echilibrului, este o măsură a vitezei.

In conformitate cu relaţia (7.5),anemometrele cu fir cald pot funcţiona cu ajutorul a două scheme de bază care realizează,respectiv,menţinerea constantă a intensităţii curentului şi menţinerea constantă a temperaturii firului.

Sondele termoanemometrice prevăzute cu fir se realizează în diferite forme constructive,dintre care cîteva sînt reprezentate în fig. 7.9. Ca material pentru firul cald se utilizează platina, wolframul, tungstenul, nichelul etc. Wolframul are o rezistenţă mecanică mare însă o sensibilitate electrică

mai mică,putînd fi încălzit numai pînă la 300°C. Diametrele firelor sînt cuprinse obişnuit între 0,01 şi 0,5 mm , iar lungimile acestora între 0,5 şi 5 mm, aceste limite putînd fi depăşite la unele sonde. Ca performanţe în miniaturizarea unor

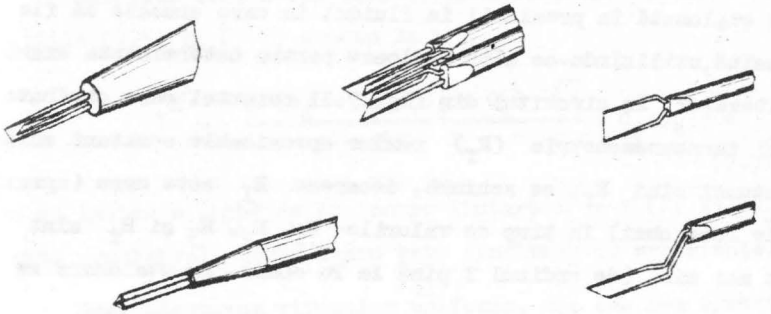


Fig. 7.9. Diferite forme de sonde termoanemometrice.

astfel de sonde se poate menţiona utilizarea la o sondă a unui fir de tungsten cu diametrul de 0,0076 mm şi lungimea de 1,016 mm (R_f = 1 Ohm).

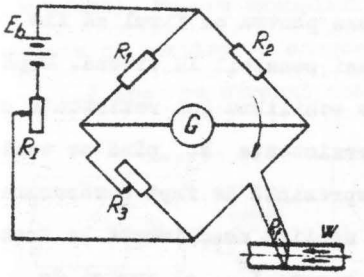


Fig. 7.10 Schema de măsurare cu menţinerea constantă a curentului.

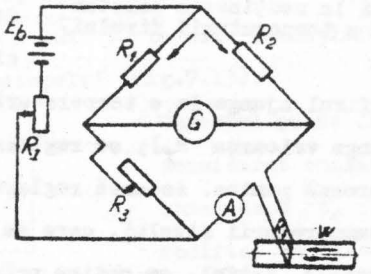


Fig. 7.11. Schema de măsurare cu menţinerea constantă a temperaturii.

In fig. 7.10 şi 7.11 sînt reprezentate cele două scheme de bază utilizate la măsurarea vitezelor cu ajutorul firelor calde.

Pentru măsurarea valorilor medii ale vitezelor la regimurile staţionare de curgere se utilizează adeseori schema reprezentată în fig. 7.11 la care se menţine constantă temperatura firului. In vederea efectuării măsurării, sonda cu fir cald trebuie etalonată în prealabil în fluidul în care urmează să fie folosită, utilizîndu-se alte mijloace pentru determinarea exactă a vitezelor. In circuitul din fig. 7.11 curentul care străbate firul termoanemometric (R_f) rămîne aproximativ constant chiar şi atunci cînd R_f se schimbă, deoarece R_I este mare (aproximativ 2000 ohmi) în timp ce valorile R_1, R_2, R_3 şi R_f sînt mult mai mici (de ordinul 1 pînă la 20 ohmi). La etalonare se fixează viteza W la o valoare cunoscută W_1 şi apoi se reglează rezistenţa R_I pentru ca valoarea curentului I să fie cît mai redusă pentru a preveni arderea firului şi totodată suficient de mare pentru ca firul să fie cît mai sensibil la viteză. După ce firul ajunge la o temperatură de echilibru (şi rezistenţa sa atinge valoarea R_f), se reglează rezistenţa R_3 pînă se echilibrează puntea. Această reglare reprezintă de fapt o măsurare a temperaturii firului, care se va menţine neschimbată la toate vitezele. Astfel, se obţine primul punct, I_1^2, al curbei de etalonare (fig.7.12). Pentru obţinerea unui nou punct, se trece la o viteză mai mare, ceea ce conduce la modificarea temperaturii şi deci a rezistenţei R_f a firului, puntea dezechilibrîndu-se. Cu ajutorul rezistenţei R_I se modifică valoarea lui I pînă cînd se reface echilibrul punţii, adică firul redobîndeşte temperatura t_f. Repetîndu-se procedeul pentru diferite viteze şi

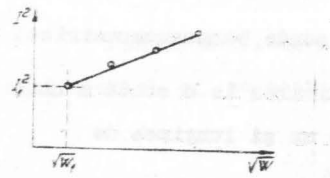


Fig. 7.12. Curba de etalonare a termoanemometrului la menţinerea constantă a temperaturii firului.

reprezentîndu-se grafic punctele se va putea trasa curba de etalonare. In cazul în care la măsurare, temperatura şi presiunea fluidului sînt diferite faţă de valorile acestor mărimi de la etalonare, trebuiesc aplicaţi coeficienţi de corecţie.

In cazul menţinerii temperaturii constante a firului, relaţiile (7.5) şi (7.6) conduc la :

$$I^2 = \frac{A\,(t_f - t_F)\cdot(C_0 + C_1)\cdot\sqrt{W}}{R_f} = C_2 + C_3\cdot\sqrt{W} \qquad (7.7)$$

ceea ce indică o curbă de etalonare liniară $I^2 = f(\sqrt{W})$ (C_2 şi C_3 sînt constante). Acest lucru este confirmat de experienţe.

Deşi măsurarea vitezelor uniforme, aşa cum s-a arătat, prezintă un interes practic, totuşi cea mai importantă utilizare a anemometrului cu fir cald este pentru măsurarea vitezelor variabile în mod rapid cum ar fi, în cazul curgerii turbulente, suprapunerea componentelor turbionare peste viteza medie. Pentru aceste măsurări sînt folosite ambele procedee (I = const. şi t_f = const). Pentru exemplificare, se va considera schema de măsurare cu menţinerea constantă a lui I la care variaţiile de [illegible]ză apar pe ecranul osciloscopului (fig.7.13).

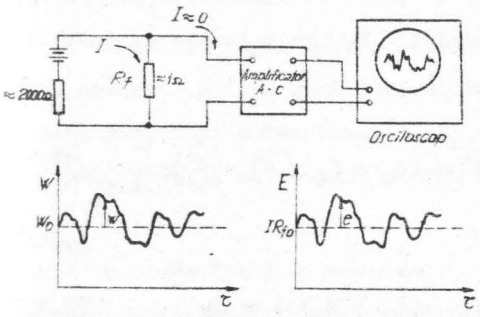


Fig. 7.13. Schema de măsură a fluctuaţiilor de viteză.

Curentul poate fi considerat constant, chiar dacă R_f îşi modifică valoarea, cît timp $R_I \gg R_f$. Dacă presupunem că viteza este menţinută la o valoare constantă W_0 şi R_f se va menţine

la o valoare constantă R_{fo} , astfel încît la capetele firului va fi aplicată o tensiune $I\,R_{fo}$. În cazul în care presupunem că viteza W variază în jurul W_o astfel că $W = W_o + w$, unde w este componenta variabilă, și rezistența firului variază în mod corespunzător, adică $R_f = R_{fo} + r_f$, în care r_f este componenta variabilă. Pentru un interval mic de timp, dt , se poate scrie bilanțul de energie pentru fir, astfel :

(Energia electrică furnizată) - (Energia calorică pierdută) = Energia acumulată în fir. (7.8)

Energia calorică pierdută se poate exprima, în baza relațiilor (7.4) și (7.5), prin :

$$A\,(t_f - t_p)\cdot(C_o + C_1\cdot\sqrt{W})\,dt \qquad (7.9)$$

în timp ce temperatura firului t_f se poate exprima, în funcție de rezistența lui, prin :

$$t_f = K_{tr}\,(R_{fo} + r_f) \qquad (7.10)$$

în care K_{tr} este inversul coeficientului de temperatură a rezistenței.

Termenul $C_o + C_1\sqrt{W}$ poate fi liniarizat în mod aproximativ, pentru schimbări mici în W , cu o eroare cu totul neglijabilă, procedînd astfel :

$$f(W) = C_o + C_1\sqrt{W} \approx (C_o + C_1\sqrt{W}) + \left.\frac{\partial f}{\partial W}\right|_{W=W_o} (W - W_o) \qquad (7.11)$$

$$C_o + C_1\sqrt{W} \approx (C_o + C_1\sqrt{W_o}) + K_w\cdot w \qquad (7.12)$$

Cu aceste precizări ecuația (7.8) capătă forma :

$$I^2\,(R_{fo} + r_f)\,dt - A\,(t_f - t_p)\,(C_o + C_1\sqrt{W_o} + k_w.w)\,dt = M.C\,dt_f \qquad (7.13)$$

în care, în afara mărimilor cunoscute,

K_w - constantă care depinde de regimul de curgere ;
M - masa firului ;
C - căldura specifică a firului.

Ținîndu-se seama de relația (7.1o), relația (7.13) capătă forma :

$$I^2.R_{fo} + I^2 r_f - A\left[K_{tr}\,(R_f + r_f) - t_p\right]\cdot(C_o + C_1\sqrt{W_o} + K_w\cdot w) = M.C.K_{tr}\,\frac{dr_f}{dt} \qquad (7.14)$$

Deoarece pentru echilibrul inițial se poate scrie :

$$I^2\cdot R_{fo} - A\,(K_{tr}\cdot R_{fo} - t_p)\cdot(C_o + C_1\cdot\sqrt{W_o}) = 0 \qquad (7.15)$$

se va obține pentru relația (7.14) următoarea formă :

$$I^2.r_f - A.K_{tr}\cdot r_f(C_o + C_1\sqrt{W_o}) - A\cdot K_{tr}\cdot r_f\cdot K_w\cdot w - A\,(K_{tr}\,R_{fo} - t_p)\,K_w.w = M.C.K_{tr}\,\frac{dr_f}{dt} \qquad (7.16)$$

Dacă se neglijează termenul $A\cdot K_{tr}\cdot K_w\cdot r_f\cdot w$ care conține produsul a două cantități mici, $r_f\cdot w$, și dacă componenta fluctuantă $I.r_f$ a tensiunii $I\,R_f = I\,(R_{fo} + r)$ aplicată la capetele firului se notează cu e , se va obține în final relația :

$$\frac{e}{w}\,(D) = \frac{K}{\tau.D+1} \qquad (7.17)$$

în care :

$$K = \frac{-K_w \cdot A \cdot I\,(K_{tr} R_{f_0} - t_p)}{K_{tr} \cdot A(C_0 + C_1\sqrt{W_0}) - I^2} \qquad [V.s/m] \qquad (7.18)$$

și

$$\tau = \frac{M \cdot C \cdot K_{tr}}{K_{tr} \cdot A\,(C_0 + C_1\sqrt{W_0}) - I^2} \qquad [s] \qquad (7.19)$$

Se observă că tensiunea urmărește viteza curentului cu o întîrziere de ordinul întîi.

Constanta de timp, τ, nu poate fi redusă mult sub o,ool sec. în practica actuală, ceea ce ar limita răspunsul de frecvență plan la mai puțin de 16o Hz.

Deoarece la studiile în regimuri turbulente frecvențele de 5o.ooo Hz și chiar mai mari prezintă interes, se utilizează scheme cu compensări electro - dinamice care permit măsurări la frecvențe de pînă la loo.ooo Hz [1] . Principala dificultate în aplicarea acestui procedeu este că compensația directă depinde de τ, a cărei valoare nu este știută și variază odată cu condițiile de curgere.

La alegerea metodei de măsurare (I = const sau t_f = const) trebuie să se țină seama, în mod comparativ, de caracteristicile celor două metode.

Astfel, la metoda de măsurare cu menținerea constantă a curentului I, deoarece valoarea curentului trebuie să fie mare pentru ca temperatura firului să depășească cu mult temperatura fluidului la o valoare medie a vitezei, există pericolul ca firul să ardă dacă viteza curentului scade brusc sau dacă curentul ajunge în repaus, deoarece reglajul nu poate stabili noul echilibru înainte ca firul să atingă temperatura de topire.

A doua metodă de măsurare (t_f = const) înlătură acest neajuns prin faptul că sistemul de reacție reglează în mod automat intensitatea curentului pentru ca temperatura firului să fie menținută constantă.

Un alt avantaj al metodei cu t_f = const. constă în faptul că, la măsurări ale fluctuațiilor de viteză, sistemul de reacție asigură o compensație dinamică inițială pentru variațiile în orice limite ale vitezelor medii W_0, pe cînd la metoda cu I = const. rețeaua pentru compensație dinamică trebuie să fie rearanjată de cîte ori viteza medie W_0 se modifică în mod apreciabil.

Principalele dezavantaje ale sistemului automat de măsurare cu menținerea temperaturii constante constă în nivelul mai ridicat al zgomotului din echipamentul electronic (care împiedică măsurarea variațiilor foarte mici de viteză) și în dificultățile legate de realizarea unor amplificatoare de înaltă amplificare. Deoarece schemele automate de măsurare cu menținerea constantă a temperaturii folosesc amplificatoare de tip d-c, ele se vor utiliza pentru frecvențe sub zero (viteză uniformă), în timp ce schemele automate de măsurare cu menținerea constantă a curentului folosind amplificatoare a - c se vor utiliza la frecvențe de aproximativ 1 Hz.

In analizele de mai sus s-a presupus că densitatea ρ a fluidului este constantă. Dacă ρ variază, termoanemometrul măsoară produsul ρW care reprezintă debitul masic local. Deci, pentru astfel de cazuri, coordonatele curbei de etalonare (fig.7.12) ar trebui să fie I^2, $\sqrt{\rho W}$.

Atît la schema de măsurare la I = const, cît și la schema de măsurare la t_f = const., tensiunea finală (presupu-

nînd β = const.) poate fi considerată direct proporţională cu variaţiile vitezei, atîta timp cît acestea reprezintă un mic procent din viteza medie W_o. Schimbările mari de viteză sînt măsurate imprecis prin metoda la care I = const. dar se pot măsura în condiţii bune printr-o manevrare corectă cu ajutorul schemei la care t_f = const.

Anemometrul cu fir cald poate servi şi pentru determinarea direcţiei vitezei medii a curentului. In acest scop se pot utiliza sondele rotative cu un fir (fig.7.14 a) şi cu două fire dispuse obişnuit la 90° (fig.7.14 b).

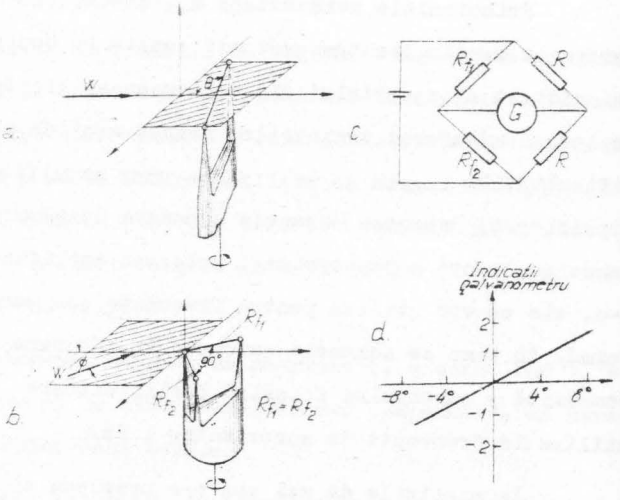


Fig. 7.14. Măsurarea direcţiei curentului.

S-a stabilit experimental că firul cald sesizează corect schimbările vitezei numai pentru unghiuri β dintre direcţia vectorului viteză şi direcţia firului cuprinse între 25° şi 90°.

Pentru acest interval putem înlocui în calcule pe W cu componenta normală W sin β. La unghiuri $\beta < 25°$ pierderea de căldură de către firul cald este mai mare decît cea obţinută

teoretic cu valoarea vitezei W sin β ; pentru β = o pierderea de căldură este de cca 55% din aceea pentru $\beta = 90°$.

Dacă se foloseşte schema de măsurare prezentată în fig. 7.11 şi se roteşte foarte încet sonda cu un fir (fig. 7.14 a) introdusă perpendicular pe direcţia curentului, se va obţine o poziţie pentru care I va avea valoarea maximă. Deoarece această metodă este destul de imprecisă datorită schimbării foarte reduse a lui sin β cu β în apropierea valorii $\beta = 90°$, se utilizează frecvent procedeul de fixare a sondei într-o poziţie la care β este aproximativ 50° şi se măsoară I . Se roteşte apoi sonda în sens invers pînă cînd se găseşte o poziţie la care se citeşte aceeaşi valoare pentru I. Bisectoarea unghiului dintre direcţiile firului anemometric corespunzătoare celor două poziţii determină direcţia curentului.

O măsurare mai comodă şi o precizie mai ridicată se obţine prin utilizarea sondei anemometrice, la care firele sînt dispuse în V (fig.7.14 b), şi a schemei în punte (fig.7.14 c), la care cele două fire ale sondei trebuie să aibă caracteristici constructive identice ($R_{f_1} = R_{f_2}$). In timpul măsurării se va roti sonda pînă cînd puntea se echilibrează şi pentru această poziţie direcţia vitezei va fi dată de bisectoarea lui V (unghiul dintre fire). Cu astfel de sonde au fost determinate direcţii ale vitezei cu erori de maximum 0,5° .

La efectuarea măsurărilor cu sondele anemometrice cu fir cald, trebuie ţinut seamă că, dacă şi fluidul supus măsurării nu este curat, pot surveni modificări faţă de etalonare chiar în cîteva minute datorită acumulărilor de impurităţi de către fir. De asemenea, particulele de impurităţi de dimensiuni mai mari care lovesc firul îl pot rupe . La viteze ridicate firele

pot vibra din cauza solicitărilor aerodinamice și a efectelor vibratorii de bătăi.

O variantă constructivă, la care sînt înlăturate unele din neajunsurile semnalate la anemometrele cu fir, este traductorul cu peliculă caldă. La aceste traductoare elementul sensibil este o peliculă subțire de platină sau rodiu depusă pe un suport de sticlă. Schema electrică folosită este similară aceleia utilizate în cazul menținerii constante a temperaturii firului. Traductoarele sondă de acest tip prezintă o mare rezistență mecanică și în plus au avantajul că se pot utiliza și pentru efectuarea măsurărilor la temperaturi foarte ridicate deoarece se pot construi și cu canale interioare pentru circulația apei de răcire. Astfel de traductoare sondă se pot executa în forme foarte variate; două exemple sînt reprezentate în fig. 7.14.

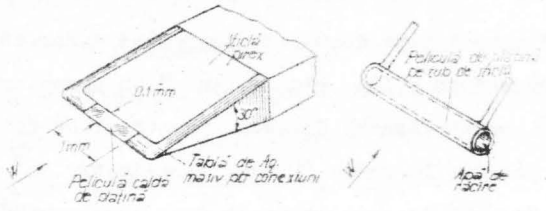


Fig. 7.15. Sonde anemometrice cu peliculă caldă.

In legătură cu măsurarea mărimii și direcției vitezei, traductoarele sondă cu fir sau cu peliculă caldă pot fi adaptate la măsurări de temperatură ale fluidului, la determinarea concentrației de gaze individuale în amestec etc. Astfel, dacă cîteva mărimi, ca de exemplu, viteza și temperazura fluidului variază în mod simultan, este posibilă culegerea informațiilor despre fiecare mărime în mod separat cu o sondă termoanemometrică dacă echipamentul auxiliar a fost bine ales.

Pentru a sublinia progresele mari realizate în tehnica măsurărilor din cadrul aerodinamicii supersonice se menționează că s-au determinat viteze pentru numere Mach de șoc, mari și anume de ordinul 7,5 pînă la 10 utilizînd traductoare de viteză cu peliculă caldă și tub de șoc [1] . In fig. 7.16 sînt reprezentate : schema traductorului de vitpză, tubul de șoc și schema de măsurare. Principiul de măsurare se bazează pe faptul că traductorul, care este montat în aceeași linie cu tubul, fiind de fapt un traductor de temperatură, va sesiza schimbarea în trepte

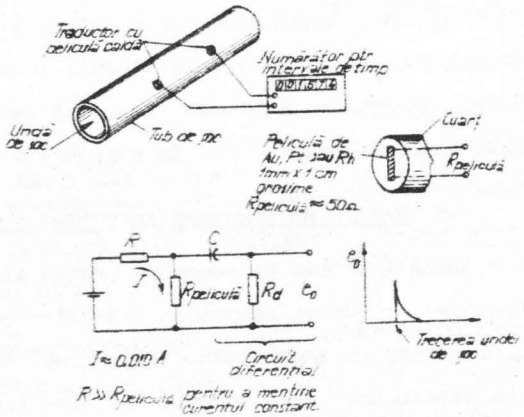


Fig. 7.16. Măsurarea vitezei medii de propagare a undei de șoc.

a temperaturii gazului.

Deci, fixînd în tub două traductoare de aceeași construcție la o distanță cunoscută, se poate determina viteza medie a undei măsurînd intervalul de timp scurs între momentele de răspuns ale celor două traductoare. Schema electrică de măsurare asigură trecerea prin stratul pelicular ($R_{pel} \approx 5\Omega$ ohmi) a unui curent constant deoarece $R \gg R_{pel}$ și este prevăzută cu un circuit diferențial pentru a ascuți impulsurile în vederea unei mai mari precizii de sincronizare.

7.5. Sonde ionice

Sonda ionică este formată din două sfere de platină cu diametrul de cîteva zecimi de milimetru, situate la o distanţă de cîţiva milimetri constituind doi electrozi între care se aplică, în timpul măsurării, o diferenţă de potenţial de cîteva mii de volţi pentru a se crea un cîmp electric fără descărcare luminoasă. Prin ionizarea gazului se stabileşte un curent electric între cei doi electrozi. Dacă sonda este supusă la un curent de gaz perpendicular pe linia care uneşte centrele sferelor, intensitatea curentului scade datorită ionilor suflaţi, fiind astfel posibilă măsurarea vitezei curentului fără a se introduce întîrziere. Din acest motiv această sondă este indicată mai ales pentru măsurări în regimuri de curgere turbulente.

7.6. Metoda de măsurare inductivă a vitezelor

Această metodă de măsurare numită şi metoda de tip electromagnetic pentru măsurarea vitezelor, constă în apariţia, în conformitate cu legea inducţiei, a unei tensiuni proporţionale cu viteza, dacă perpendicular pe direcţia de curgere a unui lichid conductor din punct de vedere electric se aplică un cîmp magnetic.

Intr-un cîmp magnetic omogen (H) şi într-o conductă circulară, diferenţa de potenţial ΔE măsurată între doi electrozi, introduşi în peretele conductei din material izolant, este independentă de repartiţia vitezelor, fiind proporţională cu viteza medie de curgere W_o (fig.7.17). Astfel, notînd cu μ permeabilitatea magnetică a lichidului şi cu r raza vînei de lichid în contact cu electrozii (raza interioară a conductei), se poate scrie relaţia :

$$\Delta E = \int_{A_1}^{A_2} \mu H W_o \, dr = 2 \mu H W_o \, r \qquad (7.20)$$

de unde rezultă :

$$W_o = \frac{\Delta E}{2 \mu H \, r} \qquad (7.21)$$

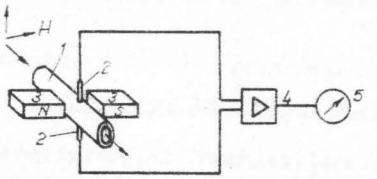


Fig. 7.17. Măsurarea inductivă a vitezelor.

Segmentul transversal $A_1 A_2$ reprezintă distanţa între electrozi (2 r) .

Curba de etalonare reprezintă relaţia între viteza medie de curgere şi tensiunea V măsurată între electrozi ($W_o = f(V)$). Alura ei este rectilinie cu excepţia vitezelor foarte mici ale lichidului.

Porţiunea de conductă unde se efectuează măsurarea este confecţionată din oţel inoxidabil căptuşit cu material izolant din P.V.C. Cei doi electrozi sînt executaţi în mod obişnuit din oţel inoxidabil şi numai în cazuri speciale din platină.

Această metodă de măsurare se poate utiliza, de exemplu, pentru determinarea vitezei medii (debitului) a saramurii utilizate ca agent de răcire la unele instalaţii frigorifice.

Metoda prezintă o serie de avantaje ca : lipsa inerţiei, caracteristica liniară pe aproape întregul interval de măsurare (pentru un aparat utilizat la o conductă cu diametrul de 50 mm curba de etalonare este liniară pentru viteze superioare lui 0,5 cm/s [5]), murdăriile nu influenţează măsurarea, posibili-

tatea executării măsurării în apropierea unor piese speciale (coturi, ventile etc.) deoarece pentru obținerea lui W_o, nu este determinantă repartiția vitezelor.

In baza aceluiași principiu au fost realizate și sonde pentru măsurarea vitezelor locale. O astfel de sondă se compune dintr-o tijă izolată având la extremitatea sa doi electrozi fini din platină situați la o distanță de 1 ÷ 2 mm, care captează forțele electromotoare datorită cîmpului magnetic produs de un electromagnet. Cu astfel de sonde se pot determina fluctuațiile vitezei datorită turbulenței.

7.7. Metoda de măsurare cu izotopi radioactivi

Această metodă se va utiliza numai în cazuri speciale, cînd alte metode nu pot fi utilizate. Ca exemplu, se indică folosirea acesteia pentru determinarea vitezei de circulație a fluidului într-o țeavă de radiație din focarul unui cazan cu abur (fig.7.18). In cazul schemei prezentate, fluxul de fluid rotește un rotor cu aripioare la care este fixat (pe una din aripioare) o mică cantitate de substanță radioactivă, 1. Radiațiile produse străbat pereții conductei și cad pe detectorul 2 cuplat cu dispozitivul de măsurare 3. Valoarea vitezei se citește la aparatul indicator 4.

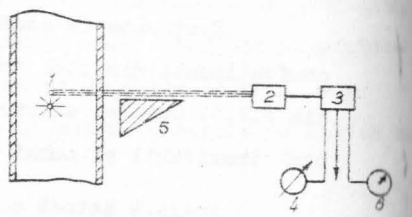


Fig. 7.18. Măsurarea vitezei cu ajutorul izotopilor radioactivi

Pentru a se obține cîte un singur semnal transmis cu ajutorul radiațiilor la fiecare rotație completă, se fixează un ecran în calea fluxului de radiații.

Preciziile obținute sînt mari deoarece funcționarea este

independentă de mărimea intensității radiației.

7.8. Metoda cronofotografiei

La această metodă se folosesc particule solide în suspensie în vîna de fluid căreia i se măsoară viteza. Prin fotografiere se determină elementele traiectoriilor care permit măsurarea vitezei [3].

- BIBLIOGRAFIE -

1. Doebelin, E.O. — Measurement Systems : Applications and Design. Ed. Mc. Graw-Hill, New-York, 1966.
2. Ouziaux, R și Perrier, J. — Mécanique des fluides appliquée Tome II. Fluides compresibles. Aérodinamique - mesures. Ed.Dunod, Paris, 1969.
3. Rebuffet, P. — Aérodynamique éxperimentale. Tome I. Ed.Dunod, Paris, 1969.
4. Preobrajenski, V.P. — Măsurări și aparate de măsurat termotehnice. Ed.Tehnică, București, 1960.
5. Tölle, H. — Măsurări în instalații termice. Ed. Tehnică, București, 1972.
6. Grave, H.F. — Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice. Ed. Tehnică, București, 1966.
7. Troskolanski T.A. — Théorie et practique des mesures hydrauliques. Ed.Dunos, Paris.
8. Popescu, P.P și Mihordea, R. — Măsurarea debitului în tehnică. Ed.Tehnică, București, 1969.
9. Percival, W.H. — Method of scavenging analysis for two-stroke Cycle Diesel cylinders. In: "S.A.E. Transactions", 63, 1955.

Capitolul 8

MĂSURAREA CANTITĂȚILOR

8.1. Generalități

Măsurarea cantităților se întîlnește frecvent la experimentarea mașinilor și instalațiilor termice pentru efectuarea bilanțurilor energetice, stabilirea consumului specific de combustibil la motoarele cu ardere internă, stabilirea gradului de umplere a cilindrilor motoarelor cu ardere internă și a compresoarelor cu piston în timpul procesului de aspirație etc.

In cadrul tehnicii măsurării se deosebesc două noțiuni de cantitate: una se referă la cantitatea în sens de masă, iar cealaltă la cantitatea de material care se scurge în unitatea de timp, adică debit.

Cantitatea în sens de masă intervine, în cadrul măsurărilor, la determinarea directă sau indirectă a unei cantități limitate care se află într-o stare mai mult sau mai puțin staționară sau la integrarea în timp a unui debit.

Măsurarea unei cantități (mase) se poate efectua prin determinarea volumului ocupat de aceasta sau prin cîntărire.

Unitățile de măsurare sînt : m^3 pentru volum și kg pentru masă.

Relativ la debit se menționează că acesta nu este o mărime care să poată fi determinată direct. In conformitate

cu legea de continuitate, debitul se poate exprima :

$$\dot{V} = w \, A \qquad (8.1)$$

unde :

$\dot{V}$ - este debitul ;

w - viteza medie de curgere ;.

A - secțiunea de curgere.

De asemenea, dacă cunoaștem, de exemplu cantitatea volumetrică, V , a unui mediu gazos care se scurge într-un timp t , atunci debitul se va calcula cu relația :

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \qquad (8.2)$$

In cazul debitului se deosebesc :

- debit volumetric ($\dot{V}$), în $m^3 . s^{-1}$, $m^3 . min^{-1}$, $m^3 . h^{-1}$;

- debit masic ($\dot{m}$), în $kg . s^{-1}$, $kg . min^{-1}$, $t . h^{-1}$.

In vederea sistematizării materialului care se expune în continuare, se clasifică metodele de măsurare a cantităților în următoarele patru grupe :

- măsurarea cantităților depozitate;

- măsurarea necontorizată a consumurilor de combustibil și alte măsurări în regim intermitent ale cantităților unor fluide de lucru;

- măsurarea cantităților cu ajutorul contoarelor;

- măsurarea debitelor.

Se menționează însă că există mai multe puncte de vedere și posibilități după care se pot stabili jaloane pentru sistematizarea metodelor de măsurare a cantităților [1,2,4] .

8.2. Măsurarea cantităților depozitate

Această problemă se pune mai ales la depozitele de combustibili lichizi și solizi din cadrul centralelor termice și termoelectrice, dar aceasta se întîlnește și în alte cazuri ca, de exemplu, la instalațiile frigorifice cînd trebuie determinată, după un anumit timp de funcționare, cantitatea de agent frigorific existentă în instalație.

Cel mai frecvent apare determinarea conținutului unui rezervor. Acest lucru se determină simplu, dacă se cunoaște forma constructivă a rezervorului și nivelul de lichid din rezervor, aplicînd formulele geometrice corespunzătoare.

Pentru aprecierea cantității de cărbune înmagazinate într-un depozit se aplică cu precizie suficientă metodele geometrice efectuîndu-se măsurătorile necesare cu ajutorul metrului și ruletei sau prin intermediul sondajelor și unor calcule stereometrice. Apoi se determină densitatea materialului.

8.3. Măsurarea necontorizată a consumurilor de combustibil și alte măsurări în regim intermitent ale cantităților unor fluide de lucru

8.3.1. Măsurarea consumurilor de combustibil solid

La cazanele mici de abur consumul de combustibil solid se măsoară adeseori prin cîntărirea cantității de combustibil introdusă și arsă în focar, într-un anumit interval de timp.

La cazanele cu consumuri mai mari, cantitatea de combustibil se poate determina prin cîntărirea vagoanelor încărcate și apoi descărcate. In acest caz, la începutul probei, buncărul este lăsat să se golească pînă la un anumit semn, se alimentează apoi cu combustibilul cîntărit urmărindu-se momen-

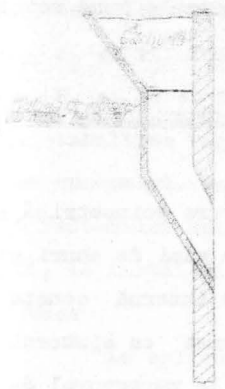


Fig. 8.1. Pîlnie de introducere a cărbunelui, folosită pentru măsurarea consumului de combustibil.

tul cînd aceasta trece din nou de semnul marcat (fig.8.1). Deoarece la aplicarea acestei metode durata probei depinde de cantitatea de combustibil cîntărit, este necesar ca la începutul probei să se estimeze prin calcul cantitatea de combustibil necesar pentru o anumită durată a probelor. In cazul cazanelor mai mari, buncărul de cărbune poate fi prevăzut cu o pîlnie, iar muchia de la intrare poate fi folosită ca reper (fig. 8.2).

La cazanele care au focare prevăzute cu grătar rulant, cantitatea de combustibil solid, m_s, se poate calcula, aproximînd înălțimea stratului h, cu relația :

$$\mathring{m}_s = h \cdot b \cdot w_{gr} \cdot \rho_s \qquad (8.3)$$

în care :

b - lățimea grătarului ;

w_{gr} - viteza grătarului ;

ρ_s - densitatea umpluturii.

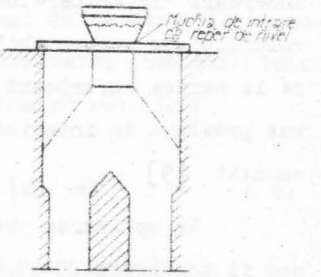


Fig. 8.2. Măsurarea consumului de combustibil în buncărul unui cazan mare.

Exactitatea acestui procedeu lasă de dorit, aceasta mai ales în cazul unei granulații neuniforme a cărbunelui.

8.3.2. Măsurarea necontorizată a consumului de combustibil lichid

Pentru măsurarea consumurilor de combustibil lichid sînt cunoscute patru metode de măsurare : metoda volumetrică, metoda prin cîntărire, metoda prin contorizare și metoda debitului.

In cele ce urmează ne vom referi numai la primele două metode de măsurare.

8.3.2.1. Măsurarea volumetrică a consumului de combustibil lichid

Unul din procedeele simple de măsurare volumetrică a consumului de combustibil utilizat la cazanele mici de aburi şi apă caldă sau la motoarele staţionare cu ardere internă constă în determinarea volumului de combustibil consumat cu ajutorul indicaţiilor din dreptul sticlei de nivel de la rezervorul de consum montat în sala cazanelor sau, respectiv, în sala motoarelor cu ardere internă.

Alte procedee simple utilizate uneori la standurile de încercări ale motoarelor cu ardere internă constau în măsurarea volumului de combustibil consumat dintr-un mic vas care comunică pe la partea inferioară cu un tub gradat transparent sau dintr-un vas prevăzut în interior cu o tijă gradată a cărui capăt este ascuţit [9] .

La aplicarea procedeelor de măsurare menţionate, erorile vor fi mai reduse, dacă marcarea indicaţiilor de volum se face prin turnarea (golirea) succesivă a unor volume de lichid măsurate şi dacă diferenţa de nivel se apreciază corect.

O metodă mai precisă constă în folosirea vaselor tarate (fig.8.3). O astfel de instalaţie comportă un rezervor de alimentare R, la care se leagă vasele V_1, V_2 şi V_3 . Volumele vaselor se cunosc cu precizie fiind marcate cu reperele r_1, r_2 şi r_3. Prin manevrarea corespunzătoare a robinetelor R_1, R_2 şi R_3 se face umplerea vaselor cu combustibil şi apoi, la stabilirea regimului de sarcină şi turaţie se face golirea lor succesivă. Deoarece precizia metodei lasă de dorit datorită factorilor subiectivi de care depinde acţionarea cronometrului, la instalaţiile moderne acţionarea cronometrului se face automat.

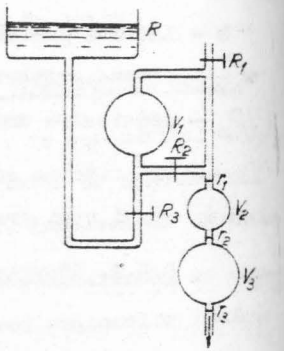


Fig.8.3. Măsurarea consumului de combustibil cu ajutorul vaselor tarate.

La aplicarea acestor procedee de măsurare volumetrică este necesar să se măsoare densitatea combustibilului sau dacă aceasta este cunoscută pentru o anumită temperatură (ex.+20°C), să se facă corecţia valorii acesteia pentru temperatura combustibilului în timpul probei.

Dacă se notează cu V , volumul de combustibil consumat (dm^3) în timpul t (s) şi cu ρ densitatea combustibilului (kg/dm^3), consumul orar se va determina cu relaţia :

$$C = 3600 \frac{V \cdot \rho}{t} \quad [kg/oră] \qquad (8.4)$$

8.3.2.2. Metoda gravimetrică pentru măsurarea consumului de combustibil

Această metodă înlătură dificultăţile şi erorile legate de metoda volumetrică (mai ales determinarea densităţii) măsurînd direct, prin cîntărire, cantitatea de combustibil consumată. In afară de aceasta, la utilizarea metodei gravimetrice se poate realiza determinarea automată a timpului de consum. Pentru aceasta, la talerul greutăţilor (fig.8.4) este suspendată o sîrmă 2 de fier, astfel că în momentul echilibrului, ea să vină în contact cu mercurul turnat într-un contactor legat în

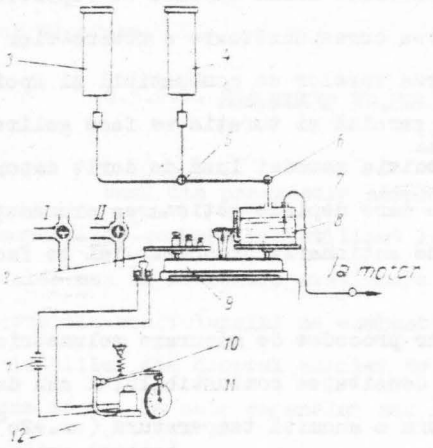


Fig. 8.4. Schema instalaţiei pentru măsurarea gravimetrică a consumului de combustibil.

circuitul electromagnetului 12. La prima trecere prin poziţia de echilibru pîrghia 10 va cupla cronometrul 11, iar la a doua trecere prin poziţia de echilibru (determinată prin scoaterea unei greutăţi de pe taler) totul se repetă şi cronometrul va fi oprit.

Metoda aceasta se întîlneşte deseori la încercările pe standurile de probă ale motoarelor cu ardere internă. Motorul se alimentează cu combustibil din rezervorul 8 aşezat pe balanţă prin intermediul sifonului 7. Pe măsura consumării combustibilului el poate fi completat din vasele 3 şi 4 prin robinetele cu trei căi, 5 şi 6. In timpul umplerii cu combustibil a vasului 8, robinetul 6 este fixat în poziţia I, iar la efectuarea probei de consum acesta este fixat în poziţia II. La efectuarea probei se umple cu combustibil vasul 8, pînă cînd acesta întrece greutăţile aşezate pe celălalt taler. Apoi, datorită consumului motorului se va ajunge la un moment cînd se stabileşte echilibrul şi, aşa cum s-a văzut, se porneşte cronometrul în mod automat. Dacă se scoate de pe talerul greutăţilor o anumită greutate balanţa va trece a doua oară prin poziţia de echilibru în momentul în care s-a terminat consumarea cantităţii de combustibil de masă egală cu a greutăţii scoase şi cronometrul se va opri în mod automat.

8.3.3. Măsurarea lichidelor prin metoda umplerii unui rezervor

Această metodă este foarte simplă şi constă în măsurarea cantităţii de lichid prin umplerea unui rezervor de volum cunoscut cu lichidul respectiv. In cele mai multe cazuri timpul de umplere se cronometrează.

Această metodă se întîlneşte uneori la măsurarea debitului apei de răcire necesar întocmirii bilanţului termic la motoare şi compresoare cu piston, la măsurarea debitelor unor pompe etc.

8.3.4. Măsurarea mediilor gazoase

Cantităţile de gaz aflate la presiune constantă pot fi măsurate cu o precizie ridicată cu ajutorul unui aparat denumit gazometru cu clopot (fig.8.5). La acest aparat clopotul de măsurat 1 este mobil şi se află introdus cu partea inferioară în apă. Valoarea înălţimii de ridicare sau de coborîre este funcţie de cantitatea de gaz care intră prin conducta de admisie sau, respectiv care iese prin conducta de evacuare. Pentru ridicarea preciziei de citire, scala, care indică volumele de gaz corespunzătoare unei anumite ridicări, este prevăzută cu un vizor.

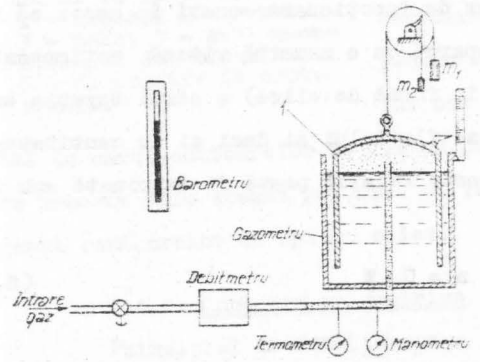


Fig. 8.5. Gazometru cu clopot

In vederea menţinerii cu rigurozitate a presiunii constante, fie că se modifică masa m_1 în funcţie de poziţia clopotu-

lui, fie că se adaugă o a doua masă m_2 cu un braţ de pîrghie variabil.

Acest procedeu de măsurare se utilizează pentru : etalonarea debitmetrelor, determinarea consumului de aer la motoarele cu ardere internă cu cilindree mică redusă, determinarea debitului la compresoarele mici etc.

Principalul inconvenient la aplicarea acestui procedeu este legat de spaţiul ocupat de gazometru.

8.4. Măsurarea cantităţilor cu ajutorul contoarelor

Pentru măsurarea consumurilor de lichide sau gaze se utilizează adeseori contoarele. Aceste contoare pot fi de viteză şi volumice.

8.4.1. Contoare de viteză

Principiul lor de funcţionare constă în aceea că fluidul care trece prin aparat cu o anumită viteză acţionează rotorul (cu palete sau în formă de elice) a cărui turaţie este proporţională cu viteza fluidului şi deci şi cu cantitatea de fluid care trece. Această relaţie poate fi exprimată sub formă generală astfel :

$$n = C \cdot W \qquad (8.5)$$

în care,

n - este turaţia rotorului, în rot/s ;

C - coeficient de proporţionalitate ;

W - viteza fluidului, în secţiunea liberă (S, m^2), exprimată în m/s ;

sau

$$V = K \cdot t \cdot n = K \cdot N \qquad [m^3] \qquad (8.6)$$

în care K este o constantă determinată experimental ;

- t, timpul [s] corespunzător trecerii cantităţii volumetrice V în care rotorul contorului efectuează N rotaţii.

Transmiterea rotaţiilor rotorului la dispozitivul de contorizare se face, în funcţie de tipul constructiv, pe cale mecanică sau electrică.

In fig. 8.6 este reprezentată schema unui contor cu rotor în formă de elice.

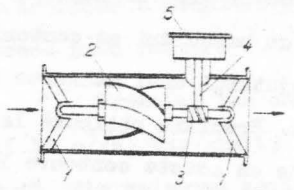


Fig. 8.6 Schema contorului cu rotor elicoidal. 1 - suport; 2 - rotor ; 3 - melc; 4 - axul mecanismului de transmitere; 5 - dispozitiv de contorizare.

Aceste contoare se utilizează în special pentru lichide (apă, motorină, benzină etc.). S-au realizat şi contoare cu rotoare cu palete pentru gaze.

Eroarea maximă la măsurarea cantităţilor de lichide cu aceste contoare atinge, de exemplu, ±2% pentru debite de trecere prin aparat mai mari ca 5% din debitul nominal în cazul contoarelor de apă cu palete şi ±2% pentru debite de trecere prin aparat mai mari ca 10% din debitul nominal, în cazul contoarelor de apă cu elice.

8.4.2. Contoare volumetrice

Principiul de funcţionare a acestor aparate se bazează pe faptul că fluidul care curge prin aparat umple periodic spaţii de volum determinat, de unde, cu aceeaşi periodicitate este expulzat, trecerile respective fiind transmise continuu la mecanismul de înregistrare.

Au fost realizate diferite tipuri constructive de contoare volumetrice pentru fluide, dintre care amintim: contorul

de măsurat basculant, cu tambur, cu piston inelar, cu pistoane profilate, umede pentru gaze.

8.4.2.1. Contor cu sistem de măsurat basculant

Sistemul basculant prezentat în fig. 8.7 reprezintă un contor de evacuare utilizat mai ales pentru măsurarea apei de purjare de la cazanele de abur. In timpul funcționării vasele de măsurare 2 și 3 sînt umplute pe rînd, basculareа avînd loc la un anumit grad de umplere. Numărul de basculări se contorizează cu ajutorul unui mecanism cu clichet. Precizia obținută la măsurarea cu aceste contoare lasă de dorit prin faptul că, lichidul continuă să curgă în vasul de măsurare chiar și în timpul basculării (pînă cînd peretele despărțitor al vaselor 2 și 3 trece în partea cealaltă). Se pot etalona și folosi pentru domenii de măsurare de la 10^{-2} m^3/h pînă la 12.000 m^3/h. Limita erorilor reprezintă ±0,2% pînă la ±0,5% din valoarea maximă a domeniului de măsurare.

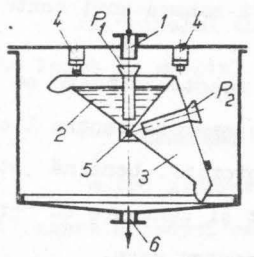


Fig. 8.7. Sistem de măsurare basculant.
1 - aducțiie; 2,3 - vase de măsurare; 4 - opritor; 5 - ax de basculare; 6 - evacuare; P_1,P_2-pîlnii.

8.4.2.2. Contoare cu tambur

Aceste contoare se utilizează pentru măsurarea cantităților de apă, și în special a condensatului la instalațiile de încălzire cu abur de joasă presiune.

Aparatul (fig.8.8) constă dintr-un tambur rotitor împărțit în trei camere, cu ax tubular. La acest aparat apa este condusă prin ax în mod succesiv la cele trei camere. Astfel, de exemplu, în timp ce camera I se umple, camera III se golește

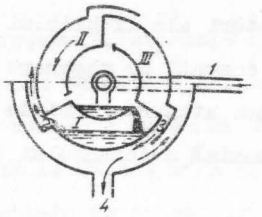


Fig. 8.8. Contor cu tambur.
1 - țeavă de aducțiune; 2 - cameră de preaplin; 3 - scurgere ; 4 - evacuare .

După ce s-a umplut cu apă camera I, apa este oprită din curgere pînă cînd intră printr-o fereastră în camera II. Datorită pătrunderii apei în camera II, centrul de greutate se deplasează luînd naștere un moment care provoacă rotirea tamburului cu 120°. Deoarece volumele celor trei camere sînt egale, este suficientă numărarea rotațiilor tamburului pentru măsurarea cantității de apă care trece prin contor.

Domeniul lor de măsurare este cuprins între 0,003 m^3/h și 12 m^3/h, iar limita erorilor este cuprinsă între ±0,5% și ± 1% din valoarea maximă a domeniului de măsurare.

8.4.2.3. Contorul cu piston inelar

Acest contor este utilizat pentru lichide cu viscozitate redusă. El este format dintr-o cameră de măsurat cilindrică în care se mișcă, datorită lichidului care curge înăuntru, un piston inelar care împarte camera de măsurat în volume semicirculare. In fig. 8.9 este prezentată schema de funcționare a acestui contor.

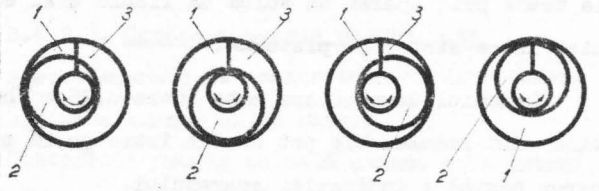


Fig. 8.9. Schema de funcționare a contorului cu piston inelar.
1 - camera de intrare; 2 - piston rotativ ; 3 - cameră de măsurat.

Se pot utiliza pentru temperaturi ale lichidului cuprinse între -30°C şi +80°C şi pentru domenii de măsurare de la 0,25 m^3/h pînă la 2 m^3/h. Erorile pot atinge valori de la ± 0,5% pînă la ±1,5% din valoarea maximă a domeniului de măsurare.

8.4.2.4. Contoare cu pistoane profilate

In funcţie de fluidul de lucru şi de forma pistoanelor rotative au fost realizate diferite tipuri constructive. In fig. 8.10 este reprezentată schema funcţională a unui contor cu roţi ovale utilizat pentru lichide (mai ales pentru măsurarea consumului de combustibil şi lubrifianţi la motoarele cu ardere internă şi pentru măsurarea condensatului la instalaţiile de încălzire centrală).

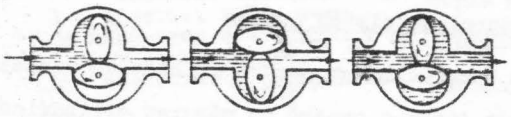


Fig. 8.10 Schema funcţională a contorului cu roţi ovale.

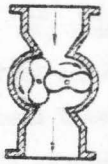


Fig. 8.11 Schema contorului cu piston rotativ pentru gaze.

La acest contor roţile dinţate ovale se pot roti fără alunecare pe două axe. La o rotaţie completă a celor două roţi ovale trece prin aparat un volum de lichid egal cu patru volume închise între stator şi pistoane.

Domeniul de măsurare este între 0,25 m^3/h şi 600 m^3/h. Erorile sînt reduse. Ele pot oscila între ±0,2% şi ±0,5% din valoarea maximă a indicaţiei aparatului.

In fig. 8.11 este reprezentată schema unui contor cu piston rotativ pentru gaze. La acest aparat, învîrtirea sincro-

pistoanelor rotative se realizează cu ajutorul unor roţi

dinţate. Pistoanele sînt profilate sub formă de lemniscată şi menţin permanent contactul între ele şi carcasă. Contoarele pentru gaze de acest tip se fabrică pentru debite de la 130 m^3/h pînă la 25.000 m^3/h şi pentru presiuni de la 1 at pînă la 10 at, limitele de erori fiind ±0,5% pînă la 1% din valoarea maximă a domeniului de măsurare.

8.4.2.5. Contoare umede pentru gaze

Aceste aparate se utilizează pentru contorizarea cantităţilor mici de gaz (0,5 - 3m^3/h). Volumul de gaz transportat în una din cele patru camere de măsurat (fig. 8.12) este izolat printr-un lichid de închidere (apă sau ulei). Tamburul se roteşte datorită trecerii gazului dintr-o cameră precedentă şi datorită diferenţei de presiune între intrare şi ieşire. Şi la acest aparat, mişcarea de rotaţie se transmite la un dispozitiv de contorizare. Eroarea maximă fiind de ± 0,1% din valoarea maximă a indicaţiei aparatului, acestea sînt foarte potrivite pentru cercetări şi experimentări, cît şi pentru etalonări.

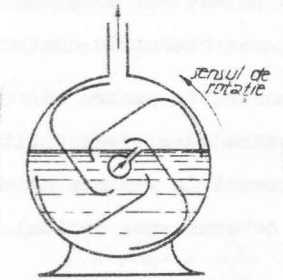


Fig. 8.12. Schema contorului umed pentru gaze

8.4.2.6. Contoare uscate pentru gaze

Aceste aparate se construiesc cu două camere fixe şi cu sertare sau cu o cameră şi cu supapă.

Contoarele uscate cu două camere se construiesc pentru debite de gaz pînă la 500 m^3/h şi pot măsura cu precizia de 2%.

Contoarele cu o cameră şi supapă se construiesc pentru debite pînă la 20 m^3/h şi pot măsura cu precizia cuprinsă între ± 2 şi ± 4% în funcţie de debit.

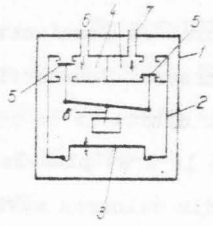


Fig.8.13. Schema contorului uscat cu o cameră și supapă.

In fig. 8.13 este prezentată schema contorului uscat cu o cameră și cu comandă prin supape. Contorul constă din cutia etanșă 1, în care se găsește camera 2 cu membrana flexibilă de măsurare 3; din această cameră se separă etanș camera supapelor 4, despărțită de asemenea etanș în două, astfel încît jumătate este în legătură cu racordul de intrare 6 și jumătate cu racordul de ieșire 7; cu ajutorul unor pîrghii, supapele sînt legate la un braț 8, care poate comanda în același timp schimbarea bruscă a poziției supapelor, precum și mecanismul de contorizare.

Contoarele uscate, deși sînt construite pentru contorizarea gazelor combustibile, se pot utiliza pentru măsurarea cantității de aer aspirată de motoarele cu ardere internă în vederea determinării coeficientului de umplere, pentru determinarea debitului unor compresoare etc.

8.5. Măsurarea debitelor de fluide

In conformitate cu relația (8.1), prin debit de fluid se înțelege cantitatea de fluid care străbate o anumită secțiune într-o unitate de timp.

In cele ce urmează se vor trata metodele pentru măsurarea debitelor de fluide.

8.5.1. Măsurarea debitului cu ajutorul dispozitivelor de laminare

Dispozitivele de laminare se întîlnesc cel mai frecvent pentru măsurarea debitelor de fluide.

Principiul metodei se bazează pe faptul că, dacă se montează un dispozitiv de strangulare (diafragmă, ajutaj etc) pe o conductă în care curge un fluid, între suprafețele amonte și aval ale dispozitivului se creează o diferență de presiune statică. Dacă se măsoară această diferență de presiune, se poate calcula debitul fluidului.

Dispozitivele de strangulare utilizate pentru măsurarea debitelor sînt : diafragma, ajutajul, tubul Venturi, tubul Dall, tubul capilar cu efect de limitare a debitului și tubul cu dop poros, (fig.8.14). Dintre acestea, cele mai răspîndite sînt diafragmele și ajutajele. Măsurarea debitelor de fluide cu ajutorul diafragmelor și ajutajelor se efectuează conform STAS - 7347 - 7o.

Dacă ne referim, de exemplu, la fig. 8.13.a, și dacă se notează cu :

$m = \frac{d^2}{D^2} = \frac{A_o}{A_3}$ raportul dintre secțiunea orificiului diafragmei și secțiunea conductei ;

A_1, A_2 - suprafața vînei de fluid în secțiunile 1 și 2, $[m^2]$;

$\alpha = \frac{\zeta \cdot \mu}{\sqrt{1-\mu^2 m^2}}$ - coeficient de debit ;

w_2 - viteza fluidului în secțiunea 2 ; $[m/s]$;

ζ - coeficientul de viteză ;

$\mu = \frac{A_2}{A_o}$ - coeficientul de contracție ;

ρ - densitatea fluidului $\left[kg/m^3\right]$;

p_1, p_2 - presiunile statice $[N/m^2]$.

se pot scrie pentru debitul volumic al fluidelor incompresibile

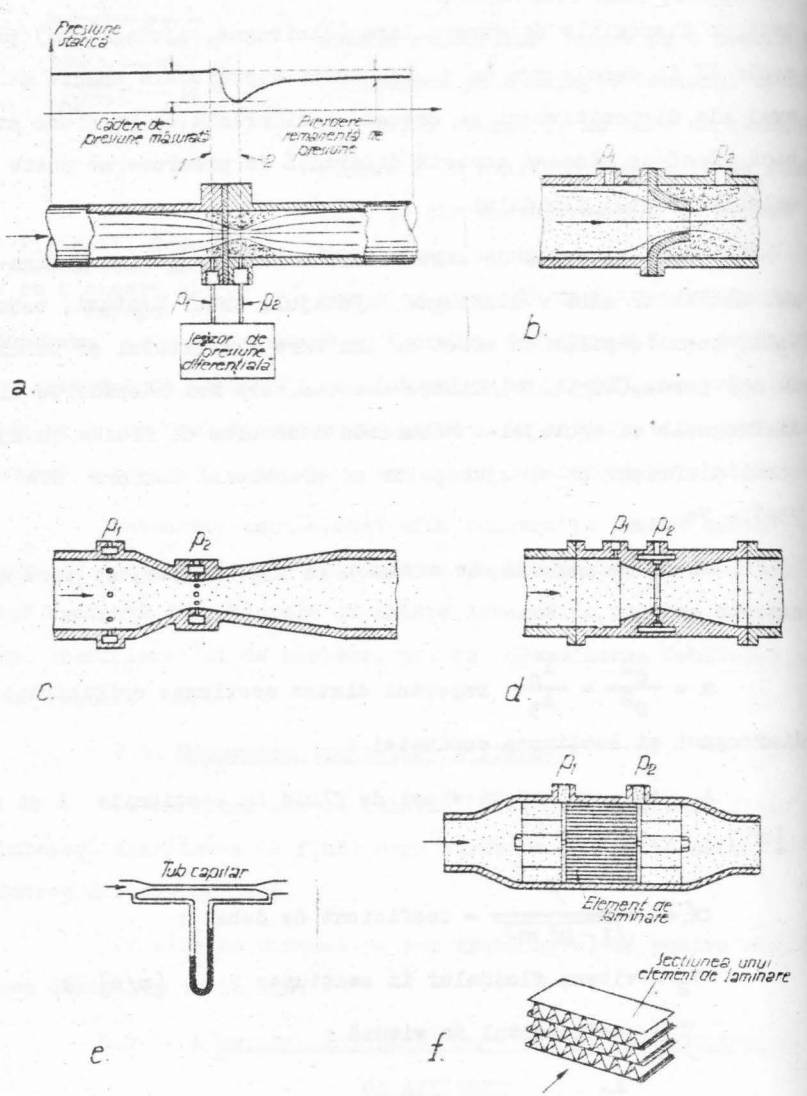


Fig. 8.14. Dispozitive de laminare.
a - diafragmă ; b - ajutaj ; c - tub Venturi ; d - tub Dall ; e - tub capilar ; f - tub cu dop poros.

egalitățile :

$$\dot{V} = A_2 \cdot W_2 = \mu \cdot A_o \cdot W_2 = \frac{\zeta \cdot \mu}{\sqrt{1-\mu^2 \cdot m^2}} A_o \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1-p_2)} \qquad (8.7)$$

sau

$$\dot{V} = \alpha \cdot A_o \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1-p_2)} \cdot [m^3/h] \qquad (8.8)$$

Diferența de presiune (p_1-p_2) se numește presiune diferențială. Presiunile statice p_1 și p_2 se pot măsura cu ajutorul prizelor de presiune la față (fig. 8.15 a) utilizate cel mai frecvent, prizelor de presiune "vena contracta" (fig.8.15 b) și prizelor de presiune flanșă (fig. 8.15 c).

Coeficientul de debit, α, este funcție de caracteristicile de curgere (numărul lui Reynolds) și de elementele geometrice (m). Deci coeficientul de debit α este același pentru lichide sau gaze, atît timp cît numărul lui Reynolds este același. Din figura 8.16 se observă că, deasupra unei anumite valori limită a numărului lui Reynolds (frontieră de invarianță), coeficienții de debit rămîn constanți. Coeficienții de debit se iau din tabelele date în STAS-ul 7347-7o corespunzător modului de fixare a prizelor de presiune. Valorile α_o găsite în tabele se caracterizează cu ajutorul unui factor de corecție, γ_{Re}, care depinde de rugozitatea re-

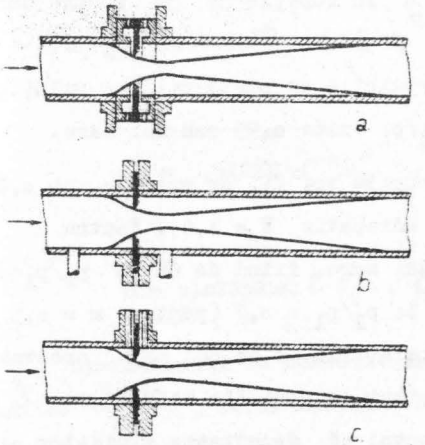


Fig.8.15. Fixarea prizelor de presiune.

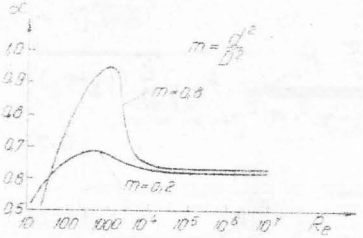


Fig. 8.16. Variaţia coeficientului de debit.

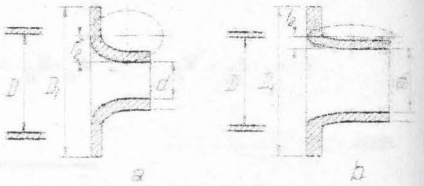


Fig. 8.17 Ajutaje a. normal ; b. cu rază mare.

lativă D/D şi R_e, astfel :

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \gamma_{R_e} \qquad (8.9)$$

In acelaşi standard se dau şi valorile lui α pentru ajutajele normale şi pentru ajutajele cu rază mare (fig.8.17). Pentru ajutajele normale se utilizează exclusiv prize de presiune la faţă,iar pentru ajutajele cu rază mare prizele de presiune sînt "Vena contracta" sau la flanşă.

In fig. 8.18 sînt prezentate curbele de variaţie ale lui α pentru diferite valori m în funcţie de Re pentru tuburi Venturi.

Pentru fluidele compresibile se poate utiliza relaţia (8.8) numai dacă raportul p_2/p_1 este o,99 sau mai mare.

In aceste condiţii erorile vor fi, de exemplu,sub o,6% dacă m = o,5 şi exponentul adiabatic K = 1,4 . Pentru $p_2/p_1 < o,99$ eroarea devine mai mare, fiind de 6% la p_2/p_1=o,9, 12% la p_2/p_1 = o,8 şi 19% la p_2/p_1 = o,7 (pentru m = o,5 şi K = 1,4). Din această cauză relaţiile de calcul sînt corectate prin introducerea unui coeficient de corecţie de detentă, ε . Acest factor ţine seama de faptul că densitatea fluidelor compresibile se modifică la trecerea prin dispozitivul de laminare.

Dacă debitul este raportat la timpul de o oră şi dacă

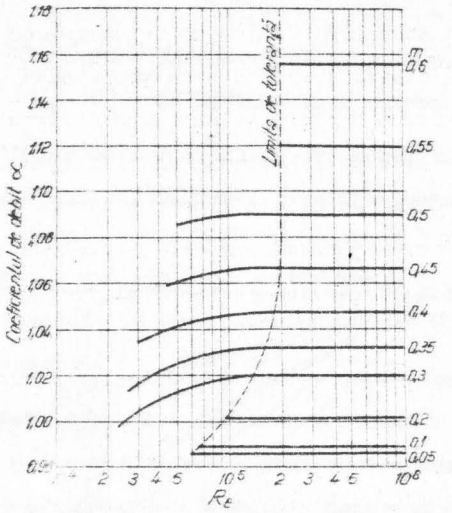


Fig. 8.18. Coeficientul de debit α în funcţie de numărul R_e pentru tuburi Venturi .

în locul secţiunii A_o se introduce secţiunea reală corespunzătoare diametrului d_t(mm) a orificiului la temperatura de lucru, se obţin următoarele relaţii uzuale :

$$\dot{V} = \sqrt{2}\,\frac{\pi}{4}\,3600.10^{-6}\cdot\alpha\cdot\varepsilon\cdot d_t^{\,2}\sqrt{\frac{p_1-p_2}{\rho_1}}\ \left[m^3/h\right] \qquad (8.10)$$

sau

$$\dot{V} = o,o1252\cdot\alpha\cdot\varepsilon\cdot d_t^{\,2}\sqrt{\frac{p_1-p_2}{\rho_1}} \qquad \left[m^3/h\right] \qquad (8.11)$$

şi

$$\dot{m} = o,o1252\,\alpha\cdot\varepsilon\cdot d_t^{\,2}\sqrt{\rho_1(p_1-p_2)} \qquad \left[kg/h\right] \qquad (8.12)$$

Coeficientul de corecţie de detentă depinde de raportul presiunilor $\frac{p_1-p_2}{p_1}$, felul mediului măsurat ($K = \frac{c_p}{c_v}$) şi caracteristicile geometrice (m).

Tabele şi relaţii de calcul pentru ε sînt date în STAS 7374-7o pentru diafragme şi ajutaje.

Comparaţia între coeficientul de corecţie de detentă pentru diafragme, ajutaje şi tuburi Venturi este ilustrată în fig. 8.19.

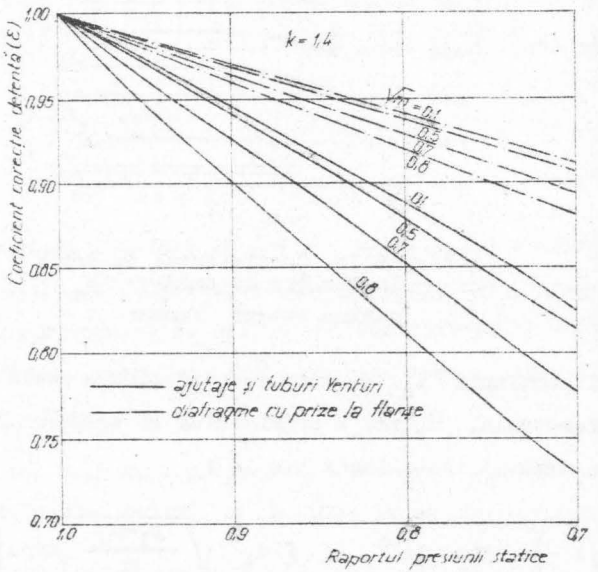


Fig. 8.19. Comparaţia între coeficientul de corecţie de detentă pentru diafragme, ajutaje şi tuburi Venturi.

Pentru calculul diametrului orificiului dispozitivului de laminare (d_o), se pleacă de la valoarea debitului fluidului, se alege o presiune diferenţială $\Delta p = p_1 - p_2$ corespunzătoare valorii debitului şi apoi lufndu-se o valoare estimativă pentru ε, se găseşte cu ajutorul relaţiei debitului o ecuaţie de forma :

$$\alpha \cdot m^2 = \text{const.} \qquad (8.13)$$

Deoarece α este dependent de m, se determină raportul m (respectiv (d_o) prin aproximaţii succesive.

In cazul unor măsurări precise trebuie să se ţină seama că ε variază şi cu presiunea diferenţială. Pentru calculul aparatului de măsurat căderea de presiune, ε poate fi luat adeseori constant. In mod obişnuit se foloseşte o valoare medie ε_m, care corespunde la 2/3 din debitul normal sau 4/9 din diferenţa de presiune (Δp).

In timpul măsurării trebuie să se ţină seama de presiunea şi temperatura fluidului, pentru a introduce în formule valorile reale ale densităţii şi ale viscozităţii dinamice. Este preferabil ca toate valorile să fie raportate la temperatura de 2o°C şi presiunea de 1 at.

Relativ la compararea diafragmelor, ajutajelor, tuburilor Venturi şi tuburilor Dall, se pot menţiona următoarele :

Diafragmele prezintă avantajul de a fi mai subţiri, ocupă un loc mai redus, se confecţionează mai simplu şi sînt mai ieftine în raport cu celelalte dispozitive de laminare luate în considerare. Singurele elemente de la diafragmă care trebuiesc prelucrate cu precizie ridicată sînt numai muchiile acesteia, în aşa fel încît să fie cît mai ascuţite.

Ajutajele, deşi necesită o execuţie mai pretenţioasă, se realizează mult mai uşor în raport cu tuburile Venturi şi Dall.

Tuburile Venturi şi tuburile Dall se execută mai greu, sînt ancombrante şi costurile de fabricaţie sînt relativ ridicate.

Coeficienţii de debit, α, ai ajutajelor şi tuburilor Venturi sînt mai mari decît aceia pentru diafragme şi prezintă

o schimbare în sens invers în funcţie de numărul Re, variind, de exemplu de la o,94 pentru Re = lo.ooo pînă la o,99 pentru Re = 1.ooo.ooo. Coeficientul de debit al tubului Dall este mai mare ca la diafragmă ; pentru m = o,7, de exemplu, variază de la o,68 la Re = loo.ooo pînă la o,66 la Re = 1.ooo.ooo.

Un element important care trebuie luat în considerare la această comparare este pierderea de presiune remanentă , p_p, (fig.8.14 a). Pierderea de presiune (în procente din diferenţa de presiune),pentru diferite dispozitive de laminare în funcţie de m , este ilustrată de tabela 8.1 [12] . Se preci-

- Tabela 8.1 -

Pierderea de presiune remanentă în procente din Δp pentru diferite dispozitive de laminare în funcţie de m .

Tipul dispozitivului de laminare	Pierderea de presiune remanentă în procente din Δp (p_p / p_1-p_2%) pentru m =				
	o,o5	o,2	o,35	o,5	o,6
Diafragmă	95	79	63	48	3
Ajutaj	9o	65	45	28	13
Tub Venturi scurt	19	13	9	7	
Tub Venturi lung cu unghiul difuzorului					
$\psi = 15^o$	25	18	13	lo	
$\psi = 6^o$	16	11	7,5	6	

zează însă că, la diferenţe de presiuni (Δp) egale (pentru păstrarea aceleiaşi precizii de măsurare), raportul m este mai mare la diafragme decît la ajutaje şi, în consecinţă,pierderea de presiune este practic aceeaşi. Tubul Venturi de asemenea necesită un m mai mic pentru un Δp dat, însă, din cauza forme

sale aerodinamice prezintă pierderi de presiune mai scăzute şi aproape independente de m . Din acest motiv tuburile Venturi sînt indicate pentru măsurarea debitelor foarte mari unde pierderile de putere deşi reprezintă un procent scăzut sînt importante din punct de vedere economic cînd se sumează pentru perioade mai lungi de funcţionare sau în cazurile în care nu se admit pierderi mari de presiune din motive funcţionale. Tubul Dall prezintă un Δp ridicat (similar unei diafragme) şi o pierdere remanentă de presiune scăzută (identică sau uneori mai redusă ca la tubul Venturi). Aceste calităţi ale tubului Dall au fost verificate experimental,dar nu sînt pe deplin justificate teoretic [2] . Pierderea remanentă de presiune a unui tub Dall este obişnuit de ordinul de 5o% sau chiar mai puţin din aceea a unui tub Venturi cu acelaşi Δp .

In cazul fluidelor care conţin impurităţi sub formă de mici particule solide măsurarea cu ajutorul diafragmei prezintă riscul cel mai mare în ceea ce priveşte modificarea secţiunii de intrare a orificiului acesteia faţă de celelalte dispozitive de laminare,dintre care cel mai bine se comportă în acest caz tubul Venturi. De asemenea, pierderea preciziei datorită uzurii intervine mai mult la diafragme în raport cu ajutajele, tubul Venturi şi tubul Dall.

Măsurările corecte ale debitelor impun o execuţie şi un montaj atent, în conformitate cu normele. Elementele constructive se vor lua din STAS 7347-7o şi din [1] , [4] . La montare, se va ţine seama,în cazul diafragmelor standardizate, ca muchia orificiului să fie aşezată spre amonte,iar orificiul dispozitivului de laminare să fie coaxial cu conducta. Trebuie menţionat faptul că erorile de măsurare scad odată cu creşterea vitezei de curgere a fluidului. De acest lucru trebuie ţi-

nut seama la dimensionarea dispozitivului de laminare.

La fixarea poziţiei dispozitivului de laminare pe conductă trebuie să se respecte distanţele minime în amonte şi aval în raport cu dispozitivele secundare montate pe conducte (ventile, coturi, teuri, teci termometre etc.) conform tabelei 1 din STAS 7374-7o şi graficelor din fig. II date în anexă [6] . Realizarea unor etanşări sau a unor îmbinări prin sudură cu muchii ascuţite, nu este permisă.

In cazul măsurării debitelor gazelor care conţin umiditate sau la măsurarea debitelor de vapori se va avea grijă ca în timpul funcţionării să se elimine acumulările de lichid din faţă şi din spatele dispozitivului de laminare prin oale de condensat.

Dispozitivul de laminare trebuie să fie montat în aşa fel încît conductele de priză să plece orizontal, în cazul cînd fluidul este constituit din vapori, în jos cînd fluidul este gaz şi şi în sus în cazul aerului şi gazelor.

In fig. III din anexă se dau după STAS 7347-7o indicaţii privind montarea debitmetrelor şi a anexelor acestora(ecrane de legătură, robinete de separare, vase de aerisire, decantare etc.).

Conductele de legătură trebuie să aibă o lungime de maximum 5o m şi un diametru interior de minimum 8 mm, să fie verticale sau înclinate faţă de orizontală, cu o pantă de min 1/1o, schimbările de direcţie să se facă lin, cu rază mare de racordare şi să fie etanşe.

In ceea ce priveşte temperatura fluidului, se recomandă să se măsoare în aval de dispozitivul de laminare, iar teaca termometrului să aibă un gabarit cît mai redus. Distanţa între

teaca termometrului şi dispozitivul de laminare,la montarea tecii în aval,trebuie să fie de minimum 5 D . Dacă priza de temperatură se ia în amonte de dispozitivul de laminare distanţele se iau din tabela 1 din STAS 7347-7o.

In cazul măsurării debitelor de aer aspirate de către motoarele cu ardere internă sau a debitelor de gaz ale compresoarelor cu piston, este necesar ca între maşina termică şi dispozitivul de laminare (sau în general debitmetrul utilizat) să se interpună un rezervor cu un volum de cca 5o - 15o ori mai mare ca cilindreea maşinei termice, pentru amortizarea oscilaţiilor de presiune.

STAS-ul 5737-63 privind încercările compresoarelor cu piston, recomandă în vederea unei măsurări precise a debitului, să se intercaleze între compresor şi ventilul de reglare un recipient de egalizare a presiunii, al cărui volum trebuie să fie:

$$V = 5o \; V_{c_1} \frac{p_a}{p_r} \qquad (8.14)$$

în care :

V - volumul minim al rezervorului de egalizare (m^3) ;

V_{c_1} - cilindreea primei trepte (m^3/cursă) ;

p_r - presiunea de aspiraţie (N/m^2);

p_a - presiunea de refulare (presiunea în recipient) (N/m^2).

Acelaşi STAS recomandă că,dacă este necesar, între ventilul de reglare şi aparatul de măsurat să se intercaleze încă un rezervor cu plăci, pentru a obţine o scurgere uniformă.

Dispozitivele laminare de măsurare a debitului (fig. 8.14 e şi f) diferă de dispozitivele de laminare tratate mai sus şi sînt proiectate pentru a funcţiona în regimul curgerii laminare. Curgerile printr-o conductă sînt în general conside-

rate laminare dacă numărul lui Reynolds este mai mic ca 2000. Pentru $Re < 2000$ relaţia lui Hagen - Poisseuille în cazul curgerii vîscoase a fluidelor incompresibile, este

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot D}{128 \cdot \mu \cdot L} \cdot \Delta p \qquad (8.15)$$

în care :

$\dot{V}$ - debitul , $[m^3/s]$;

D - diametrul interior al tubului, $[m]$;

μ - viscozitatea dinamică a fluidului $[N.s/m^2]$;

L - lungimea tubului între prizele de presiune, $[m]$;

Δp - căderea de presiune, $[N/m^2]$.

In mod obişnuit un astfel de dispozitiv se proiectează pentru $Re \leq 1000$. Cu ajutorul unui dispozitiv laminar cu un singur tub capilar (fig.8.14 e) se pot măsura cu o sensibilitate mare debite extrem de reduse.

Pentru a mări capacitatea de măsurare, se folosesc fie mai multe tuburi montate în paralel, fie un tub cu un diametru interior de cca 25 mm umplut cu mici sfere ; spaţiile de trecere dintre sfere conduc la un efect similar cu cel dat de mai multe tuburi capilare. Astfel de dispozitive specifice sînt proiectate pentru un $Re \leq 20$. Un tub de acest tip cu o lungime de cca 127 m conduce la un $\Delta p = 508$ mm H_2O pentru un debit de aer de 2 cm^3/min.

Un alt dispozitiv laminar foloseşte fie un element în formă de fagure (fig.8.14 f), fie un material de umplutură poros. Au fost realizate modele etalon pentru debite de aer cuprinse între 1,4 şi 57 m^3/min la căderi de presiune $\Delta p = 100 \div 200$ mm H_2O.

Toate dispozitivele laminare prezintă avantajele unei relaţii liniare (8.15) şi nu pătratică (ca la dispozitivele de laminare studiate) între debit şi căderea de presiune. In plus, aceste elemente permit măsurarea precisă a debitelor medii în curgere pulsatorie precum şi inversarea sensului de circulaţie a fluidului (măsurări inverse). De asemenea, sînt mai puţin sensibile la perturbările curentului de fluid în amonte şi în aval faţă de dispozitiv. Printre dezavantajele lor se menţionează uşurinţa înfundării în cazul fluidelor impure, preţul de cost ridicat, dimensiuni mari şi căderi mari de presiune (Δp măsurat se pierde în întregime).

8.5.2. Măsurarea debitului cu ajutorul vitezelor locale determinate experimental

Presupunem că se măsoară viteza fluidului, W, în diferite puncte dintr-o secţiune a unei conducte circulare cu ajutorul uneia din metodele expuse în cap. 7 şi se trasează curba vitezei medii în funcţie de rază (fig.8.2o).

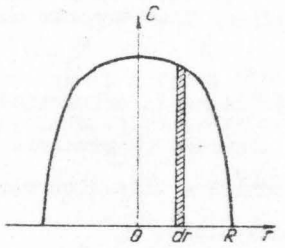


Fig. 8.2o. Curba de repartiţie a vitezelor dintr-o conductă cilindrică.

Debitul volumetric elementar printr-o suprafaţă inelară (dA) de rază r şi de lăţime dr este :

$$d\dot{V} = dA \cdot W = W \cdot 2\pi r \cdot dr = \pi \cdot W \cdot d\,(r^2)$$

Prin integrare se obţine debitul volumetric prin întreaga secţiune.

$$\dot{V} = \pi \int_0^R W \cdot d \cdot (r^2)$$

Pentru a se evita trasarea curbei $W \cdot r^2$ şi planimetrarea suprafeţei respective, se poate împărţi secţiunea în cinci

porţiuni concentrice (fig.8.21) de egală suprafaţă şi măsura viteza în punctele corespunzătoare fiecărei porţiuni unde viteza are valoarea medie. Aceste puncte de măsură sînt determinate prin calcul presupunînd o repartiţie parabolică a vitezelor, de forma

$$W = W_{max} - K \cdot r^2 \quad (8.16)$$

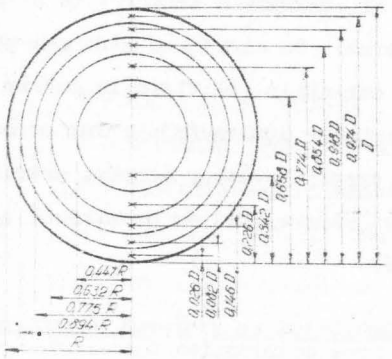


Fig. 8.21. Amplasarea punctelor de măsurare a vitezelor într-o conductă cilindrică.

In această ipoteză, punctele de măsură sînt situate la următoarele distanţe faţă de centru :

$$\frac{R}{\sqrt{10}},\ R\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{10}},\ R\frac{\sqrt{5}}{\sqrt{10}},\ R\frac{\sqrt{7}}{\sqrt{10}},\ R\frac{\sqrt{9}}{\sqrt{10}}$$

Deoarece, în practică, sonda de măsurare a vitezei se amplasează în punctele de măsurare în raport, în mod obişnuit, cu peretele conductei, pe fig. 8.21 au fost trecute aceste distanţe.

Viteza medie se obţine făcînd media aritmetică a celor 10 viteze măsurate. Pentru unele măsurări de precizie mai mare, se ia în considerare media aritmetică a vitezelor măsurate pe direcţiile a două diametre perpendiculare.

Această metodă de măsurare necesită un timp mai lung, dar ea se impune în unele situaţii cînd secţiunea de măsurare se află în vecinătatea unei surse de perturbaţii a curgerii (maşină, cot, vană etc.). Este absolut necesar să se menţină regimul permanent în timpul întregii măsurări.

Pentru măsurarea vitezelor în conducte cu diametre mai mici ca 150 mm, este necesar să se utilizeze sonde de dimensiuni cît mai reduse pentru ca perturbarea curgerii să fie minimă.

Metoda se poate utiliza şi pentru conducte forţate de mare diametru (>1,20 m). In acest caz vitezele se măsoară cu anemometre mecanice.

Există şi dispozitive a căror construcţie, bazată pe această metodă, permite determinarea directă a vitezei medii [9].

8.5.3. Măsurarea debitului cu ajutorul termoanemometrului

Principiul pe care se bazează metoda aceasta a fost expus în subcapitolul 7.4.

In fig. 8.22 se arată schematizat un debitmetru de acest tip la care în urma unei etalonări prin comparaţie, galvanometrul poate fi gradat direct în unităţi de debit volumic.

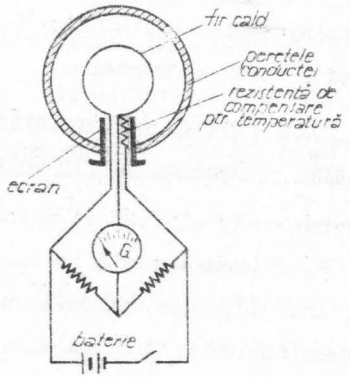


Fig.8.22. Schema unui debitmetru termoanemometric.

Astfel de debitmetre se utilizează pentru măsurări în cercetare, ele fiind mai puţin potrivite pentru măsurare de durată.

8.5.4. Debitmetre calorimetrice

Principiul de funcţionare al acestor debitmetre constă în introducerea unui debit de căldură în debitul fluidului de mă-

surat şi în măsurarea debitului masic prin :

- măsurarea diferenţelor de temperatură pentru un aport constant de putere ;

- măsurarea puterii de încălzire necesară pentru menţinerea unei diferenţe de temperatură constantă.

Astfel de debitmetre se pot utiliza mai ales pentru gaze (pentru lichide consumul de energie creşte prea mult la debite mai mari) de la debite foarte reduse corespunzătoare unor diametre de ţeavă de 2 - 3 mm, pînă la cele mai mari debite. Scara lor este liniară, au o precizie ridicată ± (o,5 - 1,o%), permit măsurarea cu precizie a debitelor cu pulsaţii reduse şi îşi păstrează performanţele (pentru un aparat dat) în domeniul de măsurare a debitelor între lo şi loo%. Pentru unele măsurări de debite, experimentatorul îşi poate realiza şi etalona astfel de debitmetre.

Din punct de vedere constructiv aceste debitmetre se realizează fie prin măsurarea efectului caloric înainte şi după sursa de încălzire (plasată în interiorul conductei), fie prin măsurarea temperaturii stratului limită a fluidului (sursa de încălzire fiind plasată în exteriorul conductei).

8.5.4.1. Debitmetre calorimetrice cu măsurarea efectului caloric al încălzirii fluidului

La acest tip de debitmetru (fig. 8.23 a) sursa de încălzire (rezistenţă electrică) 1 este montată în interiorul unui tronson izolat termic, intercalat pe conductă cu ajutorul flanşelor şi măsurarea temperaturilor în aval şi amonte de această sursă se face cu traductoarele de temperatură 2 situate la distanţă egală de sursă.

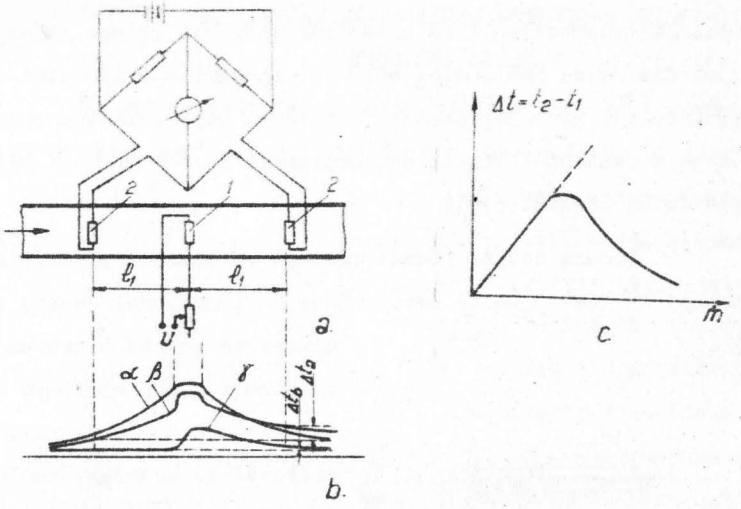


Fig. 8.23. Principiul de funcţionare al debitmetrului calorimetric cu măsurarea efectului caloric al încălzirii fluidului.

a - schema funcţională ; b - repartiţia temperaturilor ; (α - debit nul ; β - viteze mici de curgere; γ - viteze mari de curgere); c - dependenţa dintre creşterea de temperatură şi viteza de curgere.

Repartiţia temperaturilor în funcţie de regimul de curgere precum şi pentru un debit nul este arătată în fig. 8.23 b.

Cu ajutorul bilanţului energetic ($\dot{m} \cdot C_{pm} \cdot \Delta t = P$) se poate calcula debitul masic ($\dot{m}$)

$$\dot{m} = \frac{P}{K_o \cdot C_{pm} \cdot \Delta t} \qquad (8.17)$$

P - este puterea furnizată rezistenţei de încălzire (W);

C_{pm} - căldura specifică medie la presiune constantă (J/kg.grd) ;

$\Delta t = t_2 - t_1$, - diferenţa de temperatură indicată de traductoarele 2 (grd);

K_o - coeficientul de corecţie pentru inegalitatea repartiţiei temperaturii în secţiune.

Pentru viteze reduse ale fluidului, creşterea lui Δt este aproape proporţională cu creşterea vitezei, atinge un maxim şi apoi din cauza influenţei căldurii specifice a mediului (la viteze mari), se înregistrează o scădere hiperbolică corespunzătoare dependenţei invers proporţionale între Δt şi viteza fluidului (fig.8.23 c).

Pentru debite foarte mici se utilizează principiul prezentat în fig. 8.24 la care, piesa în interiorul căreia se face măsurarea constă dintr-un tub, 1, cu pereţi groşi, realizat dintr-un material cu conductivitate termică ridicată în aşa fel, încît la ambele capete să existe aceeaşi temperatură.

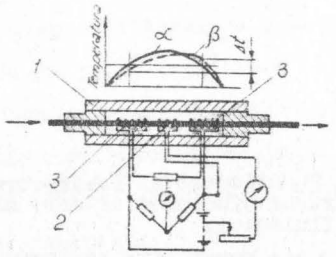


Fig. 8.24. Schema principială a debitmetrului caloric pentru debite foarte mici.
1 - tub cu pereţi groşi ;
2 - rezistenţa de încălzire ;
3 - termorezistenţă .

Curbele α şi β reprezintă repartiţia temperaturilor în peretele ţevii, pentru un debit nul, respectiv pentru un debit oarecare.

In cazul debitelor mici nu se mai pleacă de la bilanţul energetic, fiind valabilă relaţia:

$$\Delta t = K \cdot \dot{m} \cdot C_{pm}$$

de unde :

$$\dot{m} = \frac{\Delta t}{K \cdot C_{pm}} \qquad (8.18)$$

K - constantă care se determină prin etalonare.

Pentru evidenţierea performanţelor obţinute se poate menţiona de exemplu că limita erorilor la măsurarea unui debit de hidrogen de 5.10^{-6} g. s^{-1} este numai $\pm 0,5\%$ [1] .

8.5.4.2. Debitmetre calorice cu măsurarea temperaturii stratului limită

La aceste debitmetre sursa de încălzire este montată în exteriorul ţevii (fig.8.25) încălzindu-se în felul acesta numai stratul limită al fluidului. Dacă peretele ţevii este destul de subţire şi are o conductivitate termică ridicată şi dacă pierderile de căldură sînt neglijabile datorită unei bune izolări, căderea de temperatură din stratul limită,

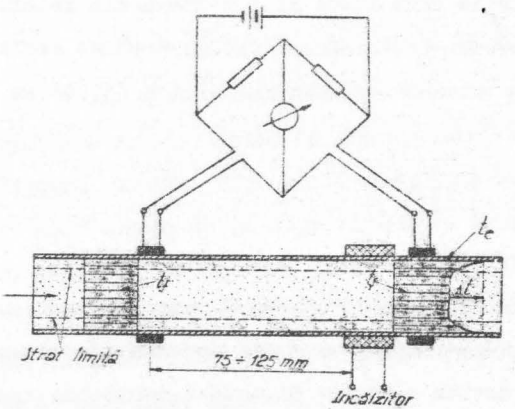


Fig. 8.25 Schema debitmetrului caloric cu măsurarea diferenţei de temperatură a stratului limită.

în cazul unei curgeri turbulente, este dată de relaţia :

$$\Delta t = \frac{K_1 \cdot P}{h} \qquad (8.19)$$

în care K_1 este o constantă în care intră factorul de conversiune şi suprafaţa de schimb de căldură ;

P - puterea furnizată de încălzitor ;

h - conductanţa termică peliculară a stratului limită.

Pentru o curgere turbulentă conductanţa termică peliculară a stratului limită este dată de relaţia :

$$h = c,o23 \left[\frac{\lambda^{o,6} \cdot C^{o,4}}{D^{o,2} \cdot \mu^{o,4}} \right] \dot{m}^{o,8} \qquad (8.2c)$$

în care λ este conductivitatea termică a fluidului ;

C - căldura specifică a fluidului ;

D - diametrul conductei ;

μ - viscozitatea dinamică a fluidului ;

$\dot{m}$ - debitul masic al fluidului.

Deoarece mărimile care intră în paranteza din relaţia (8.2o) sînt constante (sau pot fi compensate), se poate scrie $h = K_2 \dot{m}^{0,8}$. Inlocuind această valoare în relaţia (8.19) se obţine :

$$P = K_3 \cdot \Delta t \cdot \dot{m}^{0,8} \qquad (8.21)$$

K_2 şi K_3 sînt constante.

Din relaţia (8.21) rezultă că, dacă puterea furnizată de încălzitor, P, este modificată pentru a menţine întotdeauna constant pe Δt, P devine o măsură directă a debitului masic $\dot{m}$.

In cazul unei curgeri laminare, puterea furnizată de încălzitor este proporţională cu $\dot{m}^{1/3}$.

Reglarea puterii încălzitorului pentru a menţine Δt constant se poate realiza continuu, în mod automat, folosind curentul de dezechilibru al punţii de măsurare.

Un astfel de debitmetru utilizat pentru măsurarea unui debit de apă de cca 55oo kg/oră care curge printr-o conductă cu diametrul interior de 38 mm, s-a realizat cu o valoare P = 4o waţi.

In cazul utilizării schemelor de compensare automată a variaţiilor de temperatură, care elimină influenţa negativă a variaţiilor de temperatură, precizia debitmetrului poate fi menţinută în limitele ± (o,5 ÷ 1%), pentru variaţii de temperatură pînă la 5o°C.

8.5.5. Debitmetre inductive (electromagnetice)

Principiul pe care se bazează metoda aceasta a fost expusă în subcapitolul 7.6.

Domeniul de măsurare este cuprins între o,o5 m^3/h şi 4ooo m^3/h, la presiuni de lucru pînă la 16 at.

8.5.6. Măsurarea debitelor cu ajutorul izotopilor

In afara debitmetrului care se poate realiza aplicînd metoda expusă în subcapitolul 7.7, debitul măsurîndu-se în cazul acesta, după etalonare, prin turaţia rotorului (moriştii au fost concepute şi alte tipuri de debitmetre, care funcţionează cu ajutorul izotopilor, aceştia servind pentru ionizarea fluidului (de obicei, un gaz) [4] . Astfel de debitmetre se utilizează mai rar, ele fiind indicate uneori pentru cercetări experimentale şi de laborator.

8.5.7. Debitmetre cu ultrasunete

In principiu, funcţionarea acestor debitmetre se bazează pe emiterea unor ultrasunete (oscilaţii cu o frecvenţă mai mare ca 2o KHz) şi pe măsurarea timpilor de propagare a semnalului, care depinde de viteza sunetului în mediul respectiv şi de viteza de curgere a fluidului, respectiv de debit.

Practic, se pot utiliza traductoare cu cuarţ piezoelectric, atît pentru emiţătorul de semnale acustice, cît şi pentru recepţionarea lor. Astfel, dacă se aplică un scurt impuls de tensiune la înaltă frecvenţă cristalului transmiţător, T , (fig. 8.26 a), acesta va fi făcut să vibreze. Acest cristal fiind în contact cu fluidul, vibraţiile vor fi transmise fluidului şi propagate prin el. Cristalul receptor, R, este expus la aceste variaţii de presiune şi reacţionează vibrînd. Mişca-

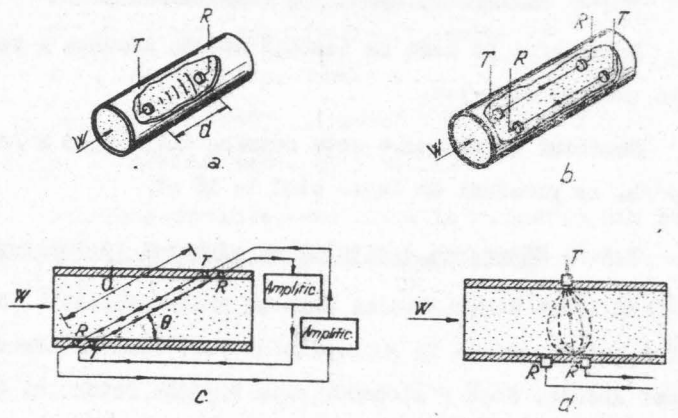


Fig. 8.26. Scheme de principiu privind funcţionarea debitmetrelor ultrasonice.

rea vibratorie va face ca în acest cristal de cuarţ să ia naştere un semnal electric de proporţie corespunzătoare.

Cu notaţiile din fig. 8.26 a, timpul τ_0, de parcurgere a semnalului de la transmiţător la receptor, pentru o viteză de curgere $W = o$, este :

$$\tau_0 = \frac{d}{c} \qquad (8.22)$$

c - fiind viteza sunetului în mediul respectiv.

Pentru o viteză de curgere a fluidului W, timpul τ de transmitere a semnalului este dat de relaţia :

$$\tau = \frac{d}{c + W} \qquad (8.23)$$

Dacă se consideră schema reprezentată în fig. 8.26 b, se pot scrie relaţiile :

$$\tau_1 = \frac{d}{c + W} \quad \text{(în sensul curentului)} \quad \text{şi}$$

$$\tau_2 = \frac{d}{c - W} \quad \text{(în sens invers curentului)}$$

Cu ajutorul unui aparat care să măscare diferenţa timpilor de propagare :

$$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{2 d W}{c^2 - W^2} \approx \frac{2 d W}{c^2} \qquad (8.24)$$

se poate determima viteza W, respectiv debitul de fluid.

Metodele de măsurare a diferenţei timpului de propagare, $\Delta\tau$, sînt : măsurarea defazării celor două semnale în regim de emisiune continuă (debitmetru ultrasonic de fază), măsurarea diferenţei frecvenţelor de repetare cu impulsuri scurte în sensul şi contra curentului, (debitmetru ultrasonic de frecvenţă) şi măsurarea diferenţei timpului de propagare a unor impulsuri de scurtă durată.

In fig.8.26 c, este arătată schema principială pe care se bazează debitmetrul ultrasonic de frecvenţă. Această schemă conţine două sisteme oscilatorii cu autoexcitaţie. Metoda (cu patru traductoare) se bazează pe apariţia unei diferenţe de timp de parcurgere şi deci de frecvenţă a două impulsuri emise în sensul şi împotriva curentului, fiind cea mai frecvent utilizată în tehnică.

Frecvenţa repetării impulsurilor generate în sensul de curgere este $1/\tau_1$ şi generate în sens invers este $1/\tau_2$. Pentru măsurarea diferenţei de frecvenţă $\Delta f = 1/\tau_1 - 1/\tau_2$, se pleacă de la relaţiile :

$$\tau_1 = \frac{d}{c + W\cos\theta} \; ; \quad \tau_2 = \frac{d}{c - W\cos\theta}$$

şi se obţine :

$$\Delta f = \frac{2 w . \cos\theta}{d} \qquad (8.25)$$

Avantajul principal al metodei constă în faptul că rezultatul nu mai depinde de viteza c .

Debitmetrele de acest tip permit obţinerea unor precizii de ±2% din limita superioară.

O altă metodă, principial diferită, bazată pe schema prezentată în fig. 8.26 d, constă în determinarea vitezei , w, (debitului) cu ajutorul măsurării devierii geometrice a unui semnal sonor, îndreptat perpendicular pe axa conductei. Cînd nu există curgere cei doi receptori primesc semnale egale, iar în cazul existenţei curgerii, fasciculul de unde sub care se transmit impulsurile (generate cu o anumită cadenţă) este deviat, astfel încît, dă un semnal mai puternic la un receptor şi un semnal mai slab la celălalt receptor. Cu ajutorul unei scheme electronice adecvate se obţine raportul celor două semnale (sub formă de tensiuni) care reprezintă debitul. Variaţiile vitezei sunetului prin fluid, ca urmare a variaţiilor de temperatură, se compensează în practică cu ajutorul unui termistor aşezat pe peretele exterior al conductei.

Debitmetrele ultrasonice sînt folosite mai ales pentru lichide, în prezent utilizarea lor fiind restrînsă din cauza schemei de măsurare relativ complicată şi costisitoare şi a dependenţei indicaţiilor de greutatea specifică a mediului măsurat. Datorită avantajelor ca : posibilitatea măsurării debitelor oricăror lichide, absenţei contactului direct al mijlocului de măsurare cu mediul măsurat, timp de răspuns foarte redus (permit măsurarea unor debite variabile cu o frecvenţă de 5 - 10 K Hz) şi absenţa pierderilor de presiune produse de măsurare, este posibil ca în viitor aceste aparate să se utilizeze pe scară mai largă. Astfel de aparate se pot utiliza în acele cazuri în care

alte metode şi în special, debitmetrele electromagnetice nu dau rezultate ca de exemplu: lichide neconductoare electric, de viscozitate ridicată, agenţi frigorifici, gaze lichefiate, debite pulsatorii cu frecvenţa de maximum $10^3 \div 10^4$ Hz.

8.5.8. Debitmetre bazate pe măsurarea forţei produsă de acţiunea presiunii dinamice

Metoda se bazează pe relaţia de legătură care există între forţa , F, care se exercită asupra unui corp scufundat într-un fluid în mişcare şi viteza de curgere a fluidului, exprimată de :

$$F = \frac{C \cdot A \cdot \rho \cdot W^2}{2} \qquad [N] \qquad (8.26)$$

în care :

C - este coeficientul de antrenare ;

A - suprafaţa transversală, pe care se exercită presiunea dinamică , $[m^2]$;

ρ - densitatea fluidului, $[kg/m^3]$;

W - viteza de curgere a fluidului, [m/s] .

Deoarece, pentru un număr Reynolds destul de mare şi un corp de formă regulată coeficientul de antrenare este constant, rezultă că pentru o densitate dată, forţa , F, este proporţională cu W^2, adică cu pătratul debitului volumetric. O schemă principială a unui astfel de debitmetru la care corpul scufundat este o grindă fixată în consolă, forţa măsurîndu-se cu ajutorul unor traductoare tensometrice, este arătată în fig. 8.27. Un avantaj important al acestor debitmetre este

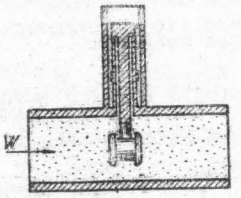


Fig. 8.27. Schema de principiu a debitmetrului bazat pe măsurarea forţei de antrenare.

comportarea superioară în regim tranzitoriu. În cazul în care un astfel de debitmetru este utilizat pentru studii asupra curgerii în regim dinamic, este necesar să se liniarizeze caracteristica rădăcinii pătrate.

8.5.9. Măsurarea debitului cu ajutorul unui rotametru

Un rotametru este format dintr-un tub cu alezare conică în care un plutitor admite o poziţie verticală corespunzătoare fiecărui debit pentru un fluid dat (fig.8.28 a). Poziţia de echilibru a plutitorului se va obţine în timpul măsurării atunci cînd forţa ascendentă exercitată asupra plutitorului şi care este funcţie de

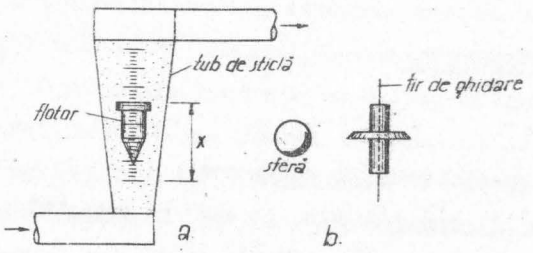


Fig. 8.28. Schema rotametrului şi tipuri de plutitoare.

secţiunea corpului, viteza de curgere, densitate, viscozitate şi de un coeficient de debit, este echilibrată de forţa datorită gravitaţiei din care se scade forţa de împingere arhimedică. Poziţia plutitorului este măsura debitului. Între deplasarea plutitorului pe verticală şi valoarea debitului poate exista o relaţie de legătură liniară dacă secţiunea tubului rotametric variază liniar cu înălţimea tubului.

Pentru o curgere incompresibilă debitul volumetric de fluid care curge prin rotametru este dat de relaţia [2] :

$$\dot{V} = \frac{\alpha\,(A_t - A_p)}{\sqrt{1 - [(A_t - A_p)/A_t]^2}} \cdot \sqrt{2g \cdot V_p \frac{\rho_p - \rho}{A_p \cdot \rho}} \quad \left[m^3/s\right] \qquad (8.27)$$

în care :

α - este coeficientul de debit ;

A_t - suprafaţa secţiunii tubului $[m^2]$;

A_p - suprafaţa plutitorului introdus în fluid $[m^2]$;

V_p - volumul plutitorului introdus în fluid $[m^3]$;

g - acceleraţia locală gravitaţională $[m.s^{-2}]$;

ρ_p - densitatea materialului plutitorului $[kg.m^{-3}]$;

ρ - densitatea fluidului $[kg.m^{-3}]$.

Dacă variaţia lui α cu poziţia plutitorului este redusă şi deoarece $[(A_t - A_p)/A_t]^2$ este întotdeauna mult mai mic decît 1, ecuaţia (8.27) se poate scrie sub forma :

$$\dot{V} = K.(A_t - A_p) \qquad (8.28)$$

sau pentru cazul în care, aşa cum s-a arătat, secţiunea tubului variază liniar cu înălţimea tubului, adică cu poziţia X a plutitorului

$$\dot{V} = K_1 + K_2 \cdot X \qquad (8.29)$$

K, K_1 şi K_2 fiind mărimi constante.

Relativ la construcţia plutitorilor se menţionează că materialele lor se aleg funcţie de densitatea dorită, ρ şi că pentru unele construcţii se aleg forme care reduc efectele de viscozitate. Unele plutitoare nu necesită o ghidare în timpul funcţionării (ex. plutitorul sferic), iar pentru alte forme, ghidarea se face fie cu ajutorul unui fir, sau a nervurilor dispuse pe pereţii interiori ai tubului (fig.8.28 b).

Pierderea remanentă de presiune este de 5 mm pînă la 200 mm H_2O la gaze şi de 5 pînă la 50 torr la lichide, aceasta putîndu-se calcula cu relaţia :

$$\Delta p = \frac{V_p(\rho_p - \rho)}{A_p} \qquad (8.30)$$

în care : V_p, ρ_p, ρ şi A_p au semnificaţia cunoscută.

In cazul măsurării debitelor de fluide aflate la presiuni mai ridicate şi cînd tubul nu se mai execută din material transparent sau în cazul transmiterii indicaţiilor la distanţă, deplasarea plutitorului se poate transmite pe cale magnetică sau inductivă.

Limita erorilor este de circa ±2% pînă la ±3%, însă în domeniile de indicare a valorilor mici, poate să crească pînă la ±10%.

Rotametrele se utilizează cu precădere la măsurarea debitelor mici şi mijlocii, domeniul lor de măsurare fiind cuprins pentru gaze între 0,001 m^3/h şi 800 m^3/h, şi pentru lichide între 0,0005 m^3/h şi 80 m^3/h.

La alegerea şi montarea rotametrelor se va ţine seama de indicaţiile date în lucrarea [4] .

8.5.10. Debitmetru masic cu circuit în punte

In fig.8.29 este arătată schema unui debitmetru bazată pe un principiu destul de diferit. Construcţia acestui debitmetru constă din patru orificii identice, legate într-un circuit în punte. Pompa de debit mic funcţionează permanent la un regim de debit volumic $\dot{V}$, indiferent de valoarea debitului volumic total $\dot{V}$. Avînd în

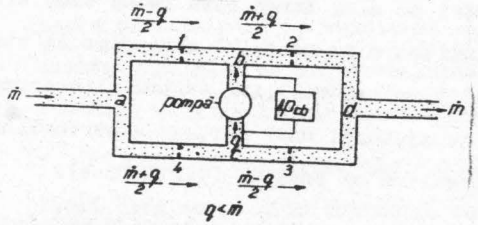


Fig.8.29. Schema de principiu a debitmetrului masic cu circuit în punte.

vedere că pentru un fluid dat căderea de presiune la curgerea fluidului printr-un orificiu este proporţională cu $\rho\dot{V}^2$, rezultă că:

$$\Delta p_{cb} = K\rho\left(\frac{\dot{V}+\dot{v}}{2}\right)^2 - K\rho\left(\frac{\dot{V}-\dot{v}}{2}\right)^2 = K\cdot\rho\cdot\dot{v}\cdot\dot{V} = K_1\cdot\dot{m} \qquad (8.28)$$

în care ρ este densitatea fluidului ;.

K , K_1 - constante ;

$\dot{m}$ - debitul masic.

Astfel, căderea de presiune Δp_{cb} este o funcţie liniară de debitul masic $\dot{m}$.

La un astfel de debitmetru este necesar ca toate debitele prin orificii să fie menţinute la numere Reynolds mari, astfel încît coeficienţii de debit ai orificiilor, care sînt egali, (de mărimea lor ţine seama K_1) să nu varieze cînd variază $\dot{V}$.

In afara debitmetrelor masice pentru fluide, de tipul celui prezentat şi a celui calorimetric, au mai fost concepute şi alte scheme de debitmetre masice bazate pe diferite principii, ca momentul cinetic unghiular al cantităţii de mişcare etc. [2] .

8.5.11. Metode de măsurare a densităţii, utilizate pentru determinarea debitului masic al fluidelor

Deoarece majoritatea metodelor de măsurare a debitului permit măsurarea debitului volumic, au fost imaginate aparate cu funcţionare automată (prezentate schematic în fig. 8.30) care conţin în afara debitmetrului volumic propriu-zis şi scheme de măsurare continuă a densităţii (fig. 8.31) [2] .

Metoda de măsurare a densităţii schematizată în fig.8.31 a se bazează pe proporţionalitatea dintre forţa ascensională exer-

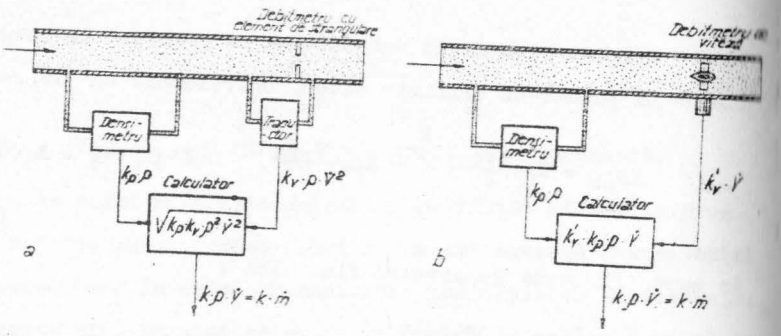


Fig. 8.30. Scheme de debitmetre cu calculare automată a debitului masic.

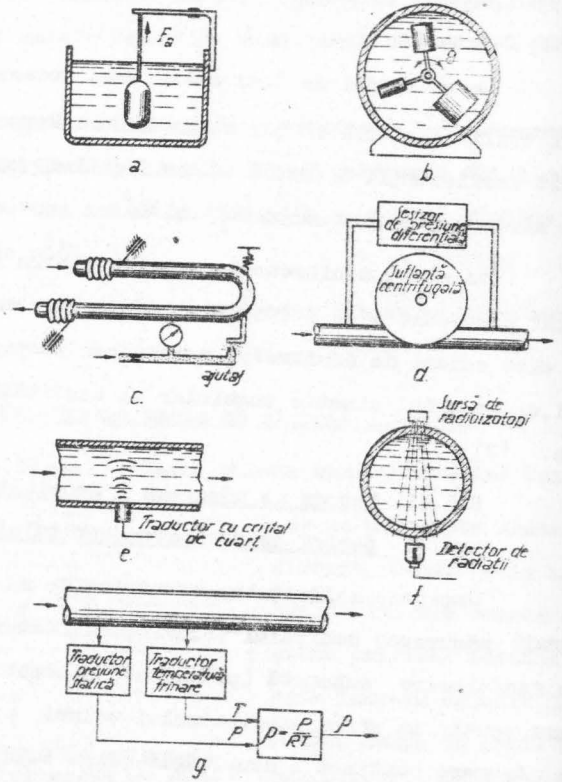


Fig. 8.31. Diferite scheme utilizate pentru măsurarea automată a densităţii fluidelor în curgere.

citată asupra corpului imersat în lichidul care curge şi densitatea acestuia.

Pentru măsurarea forţei , F_a, există multiple posibilităţi. La schema arătată în fig. 8.31 b, forţa ascensională exercitată asupra celor trei corpuri de volume şi densităţi diferite solidarizate între ele, face ca unghiul θ să varieze liniar cu densitatea. Unghiul θ se măsoară cu un traductor de poziţie unghiulară. La schema arătată în fig. 8.31 c, densitatea se determină prin cîntărirea continuă a unui volum determinat de lichid care curge prin tubul U , cu ajutorul unui resort şi a unui traductor de deplasare pneumatic. Principiul schemei de măsurare din fig. 8.31 d, se bazează pe proporţionalitatea care există între căderea de presiune realizată de o mică suflantă centrifugală, a cărui rotor este antrenat cu viteză constantă, şi densitatea gazului. Căderea de presiune (densitatea) se poate măsura cu un sesizor potrivit de presiune diferenţială. La schema arătată în fig. 8.31 e, utilizată uneori în combinaţie cu debitmetrele ultrasonice în vederea obţinerii debitului masic, traductorul cu cristal de cuarţ serveşte ca detector acustic de impedanţă. Impedanţa acustică depinde de produsul densităţii şi vitezei sunetului.

Schema de măsurare arătată în fig. 8.30 f, se bazează pe liniaritatea care există, într-un domeniu limitat al variaţiei densităţii, între curentul emis de detectorul de radiaţii şi densitatea fluidului care curge. Pentru gaze care curg, densitatea poate fi determinată de un calculator pe baza schemei arătată în fig. 8.30 g.

8.5.12. Debitmetre utilizate pentru agenti frigorifici

In afara unora dintre debitmetrele descrise, ca de exemplu debitmetrul calorimetric, au fost concepute şi alte construcţii specifice. Astfel, în fig. 8.32 este arătată schema debitmetrului tip Glässel. La acest debitmetru, agentul lichid de la condensator curge prin cădere liberă în vasul etalonat 2, de unde se scurge prin diafragma frontală 3. Înălţimea coloanei de lichid deasupra diafragmei, indicată de scala tubului de nivel 4, este o măsură a debitului.

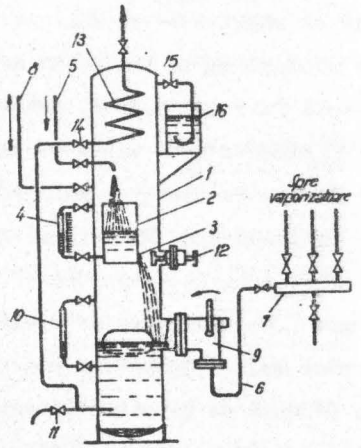


Fig. 8.32. Schema debitmetrului tip Glässel.

1 - corpul debitmetrului; 2 - vas etalonat, cu diafragmă frontală - 3 şi indicator de nivel 4;5 - intrarea agentului lichid; 6 - ieşirea agentului lichid spre staţia de reglare şi înec care - 7; 8 - conductă de egalizare a presiunii (spre condensator; 9 - ventil de reglare cu plutitor; 1o - indicator de nivel inferior; 11 - robinet pentru evacuarea uleiului; 12 - dispozitiv de blocarea diafragmei; 13 - separator de ser; 14 - robinet de strangulare; 15 - robinet pentru evacuarea aerului; 16 - vas cu apă.

Vasul etalonat 2 prevăzut cu ajutaj de scurgere este denumit, în literatura de specialitate, aparat de măsurat scurgerile cu rezervor Poncelet, fiind utilizat şi pentru alte lichide(mai ales pentru apă).

In fig. 8.33 este arătată o altă schemă de măsurare la care aparatul, care constă din două rezervoare verticale prevăzute cu sticle de nivel, robinete şi alte accesorii, este montat de asemenea, pe conducta de lichid. In timpul măsurării, alimentarea vaporizatorului cu agent lichid se realizează prin deschiderea alternativă a robinetului de ieşire (inferior) al unuia dintre rezervoare şi a robinetului de intrare(superior) al celuilalt. Pentru obţinerea unei precizii satisfăcătoare, se recomandă ca timpul de măsurare a debitului să fie de cel puţin 2 minute şi variaţia nivelului de cel puţin 15o mm.

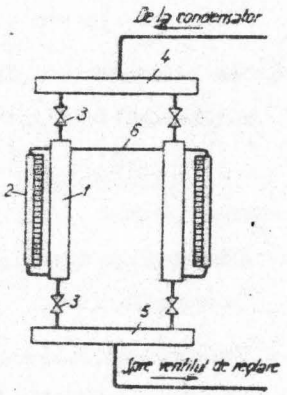


Fig. 8.33. Schema de măsurare a debitului de agent lichid cu două rezervoare.

1 - vase etalonate; 2 - tub de nivel; 3 - robinete de manevră; 4 - colector superior; 5 - colector inferior; 6 - conductă de egalizare a presiunilor.

Pentru măsurarea debitului de agent frigorific pe conducta de vapori, se întîlnesc mai des debitmetre cu dispozitive de strangulare montate pe conducta de aspiraţie a compresorului şi debitmetre calorimetrice, ultimele fiind indicate mai ales pentru cazul vaporilor saturaţi umezi (la ieşirea din vaporizator).

In cazul utilizării dispozitivelor de strangulare pentru măsurarea debitului pe conducta de lichid, se recomandă o subrăcire a condensatului de minimum 3 grd, în scopul evitării erorilor datorite vaporizării parţiale a agentului.

Capitolul 9

MASURAREA TIMPULUI

9.1. Generalităţi

In tehnică cuvîntul "timp" se foloseşte cu două înţelesuri. Astfel, cuvîntul "timp" înseamnă,în general,timpul indicat de ceasornice. Cuvîntul "timp" mai înseamnă însă şi durata de desfăşurare, de exemplu,a unui proces sau fenomen,adică un interval de timp. In acest sens se foloseşte de obicei în tehnică pentru evitarea confuziilor termenul de "interval de timp".

In măsurarea timpului unitatea fundamentală este secunda,care este aproape egală cu 1/86.4oo dintr-o zi solară mijlocie.

Măsurarea timpului intervine în foarte multe încercări şi experimentări efectuate asupra maşinilor şi instalaţiilor termice ; în unele situaţii această măsură este esenţială,iar în altele, secundară.

Dacă, de exemplu, se determină debitul mediu $\dot{V}_m$ pe baza măsurării volumului de lichid, V care intră într-un rezervor într-o durată de timp τ , măsura timpului este esenţială deoarece debitul se calculează cu ajutorul relaţiei $\dot{V}_m = V/\tau$.

Din contra, cînd se determină eroarea indicaţiilor unui contor de lichid prin comparaţie, de exemplu,cu debitul măsurat cu ajutorul unui dispozitiv de laminare, măsura timpu-

lui este secundară.

In cadrul acestui capitol se vor trata succint : cronometrele şi cronografele (mecanice şi electrice), ceasornicele cu motor sincron, unele metode de măsurare a intervalelor scurte de timp şi marcarea bazei de timp.

9.2. Cronometre şi cronografe mecanice

Cel mai frecvent, măsurarea intervalelor de timp se efectuează cu ajutorul cronometrului. La cronometrele obişnuite, ca şi la ceasornice,balansierul execută 18.ooo oscilaţii pe oră (5 oscilaţii pe secundă),permiţînd astfel efectuarea citirilor cu o precizie pînă la 1/5 sec. Sînt şi cronometre de construcţie obişnuită,la care precizia de citire ajunge la 1/1o sec.(36.ooo oscilaţii ale balansierului).

In cazul cronometrelor de construcţie specială, cu dimensiuni mai mari,la care balansierul poate efectua pînă la 18o.ooo oscilaţii pe oră,precizia de citire poate atinge valorile : 1/2o, 1/5o sau chiar 1/1oo sec.

Unele cronometre sînt prevăzute cu două ace secundare care pot fi comandate simultan sau separat. Acest tip de cronometre este foarte comod în cazul în care se efectuează măsurări simultane asupra a două procese,deoarece experimentatorul nu trebuie să manevreze două cronometre.

De asemenea, se utilizează în unele situaţii (mai rar) cronografe mecanice care servesc pentru înregistrarea intervalelor de timp în care se succed anumite fenomene studiate.

9.3. Ceasornice cu motor sincron

Mecanismul de antrenare foarte des întîlnit atît la ceasuri de uz curent şi de precizie, cronometre, contoare de

timp şi cronografe,cît şi la diferite aparate înregistratoare pentru deplasarea corectă în timp a benzii de diagramă, este motorul sincron. Acest motor este un convertor la care mărimea de intrare este o frecvenţă,iar mărimea de ieşire o turaţie.

Dintre numeroasele execuţii de astfel de micromotoare cel mai răspîndit este motorul cu histerezis, inventat de H.E.Warren în anul 1915. In fig. 9.1 se arată schema unui astfel de motor construit cu o singură pereche de poli. Statorul 1, cu doi poli, este executat din tole de oţel moale, fiind înconjurat de bobinajul de excitaţie 2. Polii sînt crestaţi şi prevăzuţi fiecare pe jumătate din cuprinsul lor cu inele de scurt circuit 3. Crestarea polilor are ca efect divizarea fluxului total în două fluxuri cu decalaj de fază între ele şi formarea unui cîmp învîrtitor eliptic. Sub influenţa acestui cîmp, indusul (rotorul), 4 , porneşte foarte uşor în asincron. Deoarece rotorul este magnetizat în direcţie radială, după cîteva ture acesta se roteşte sincron cu cîmpul învîrtitor datorită fenomenului de histerezis.

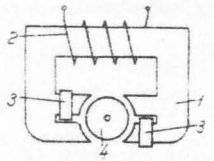


Fig. 9.1. Schema unui motor bipolar cu histerezis.

Turaţia acestui motor se determină cu relaţia :

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \qquad (9.1)$$

în care f este frecvenţa curentului alternativ $[s^{-1}]$;

p - numărul perechilor de poli.

Rotorul motorului schematizat în figură va face 3000 rot/min dacă se consideră pentru frecvenţa reţelei, f=50 Hz, deoarece p = 1 .

Avînd în vedere că exactitatea instrumentelor de măsură

echipate cu motoare sincrone depinde de constanţa frecvenţei reţelei de curent alternativ, se poate menţiona că aceasta fiind astăzi reglată pentru reţelele de curenţi tari şi indicaţiile acestor ceasornice (sau mecanisme de înregistrare acţionate cu astfel de motoare) se abat doar puţin de la timpul astronomic pe o perioadă mai lungă de timp. Ca precizie sînt superioare multor instrumente mecanice similare.

Au fost realizate şi ceasornice sincrone cu comandă fără fir. Astfel de ceasornice sînt echipate cu o antenă formată dintr-o bobină şi un miez din ferită,în care se induce o tensiune datorită cîmpului magnetic de dispersie creat de conductoarele şi aparatele de curenţi tari,care se găsesc pretutindeni. Tensiunea aceasta este amplificată şi folosită la sincronizarea unui oscilator la ieşirea căruia se găseşte un motor sincron special,care absoarbe o putere de numai 25 mW. Ca sursă de curent servesc două celule cu mercur de foarte mare constanţă, care trebuiesc înlocuite după 18 luni. Chiar dacă există întreruperi în formarea curentului pe reţea, ceasornicul nu se opreşte, deoarece oscilatorul continuă să meargă.

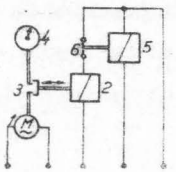


Fig. 9.2. Schema de principiu a cronometrului de secunde.

In fig. 9.2. este arătată schema de principiu a unui cronometru de secunde. Motorul sincron 1 funcţionează permanent cînd cronometrul merge. La începutul măsurării acesta este cuplat printr-un electromagnet, 2 , cu sistemul de măsurare 4. La terminarea măsurării, releul de decuplare 5 se pune sub tensiune şi atunci întrerupătorul său, 6 , deconectează electromagnetul 2. Revenirea la poziţia iniţială se face pe cale magnetică. Construcţiile speciale permit şi telecţionarea electromagnetică.

Contorul de timp este un ceasornic sincron, care conţine în loc de ac şi cadran, un dispozitiv de contorizare. Dacă un astfel de contor se conectează în paralel cu un aparat sau utilaj, el va porni şi se va opri automat odată cu acesta.

Cronografele electrice de tip obişnuit permit urmărirea desfăşurării unui singur fenomen, iar cronografele multiple permit măsurarea simultană a duratelor mai multor fenomene.

9.4. Măsurarea intervalelor scurte de timp

In afară de posibilităţile oferite de ceasornic pentru măsurarea intervalelor mai lungi de timp sau a contorului de timp, cronografului şi cronometrului de secunde, pentru măsurarea unor intervale mai mici de timp, au fost imaginate diferite metode pentru măsurarea intervalelor scurte de timp.

Pentru măsurarea intervalelor scurte de timp se utilizează frecvent procedeele analogice şi procedeele numerice.

Printre aplicaţiile măsurărilor de intervale scurte de timp menţionăm : măsurarea timpului de intrare în acţiune a releelor, măsurarea întîrzierii execuţiei unor operaţii în raport cu momentul de comandă, durata totală de deschidere a unor supape de prelevat probe de gaze sau a altor tipuri de supape, măsurarea duratei impulsurilor şi a distanţelor între acestea etc.

9.4.1. Metode analogice

Unul din procedeele de măsurare bazate pe această metodă foloseşte galvanometrul balistic (fig.9.3). La începutul intervalului de timp ce urmează a se măsura, se închide întrerupătorul S_1, iar la sfîrşit se deschide întrerupătorul S_2. Şocul de curent care acţionează în acest caz asupra galvanometru

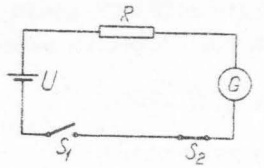


Fig. 9.3. Schema de măsurare a intervalelor scurte de timp cu galvanometrul balistic.

lui balistic G este :

$$I \cdot \tau = \frac{U \cdot \tau}{R} \qquad (9.2)$$

în care U este tensiunea aplicată [V

R - rezistenţa totală a circuitului [ohmi];

τ - timpul căutat [s] .

Avînd în vedere că la galvanometrul balistic şocul de curent $Q = I \cdot \tau$ provoacă o deviaţie maximă α , se poate scrie

$$I \cdot \tau = C_b \cdot \alpha \qquad (9.3)$$

Rezultă din combinarea relaţiilor (9.2) şi (9.3)

$$\tau = \frac{C_b \cdot R}{U} \alpha \qquad (9.4)$$

în care C_b este constanta balistică.

Pentru astfel de măsurări pot fi folosite şi galvanometre cu deviaţie foarte lentă. Sînt construcţii de aparate cu etalonare directă în milisecunde. Eroarea de măsurare cu această metodă poate atinge $\pm 2\%$ din valoarea maximă.

Un alt procedeu de măsurare la care se foloseşte voltmetrul static are schema de măsurare din fig. 9.4.

Inainte de începerea măsurării întrerupătoarele S_1 şi S_2 sînt închise, condensatorul C fiind încărcat la tensiunea U_o. La începutul măsurării se deschide întrerupătorul S_1 şi atunci condensatorul C se des-

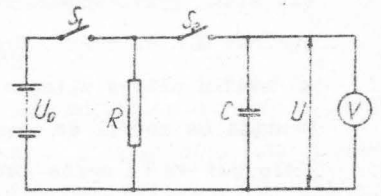


Fig. 9.4. Schema de măsurare a intervalelor scurte de timp cu voltmetrul static.

carcă prin rezistenţa R . Tensiunea sa variază în acest caz după relaţia

$$U = U_o \cdot e^{-\frac{\tau}{RC}} \qquad (9.5)$$

Tensiunea, U , se citeşte la voltmetrul static (V) la sfîrşitul timpului de măsurare, după ce se deschide şi întrerupătorul S_2 .

Din relaţia (9.5) rezultă valoarea timpului care se măsoară.

$$\tau = R\,C\,\ln\left(\frac{U_o}{U}\right) \qquad (9.6)$$

La un alt procedeu de măsurare se foloseşte oscilograful de tip catodic. Cu ajutorul acestui procedeu se pot înregistra fenomene care au loc o singură dată. Acest procedeu se întîlneşte şi sub denumirea de "metodă de măsurare cu urme albastre". Elementul principal al aparatului este aşa zisul tub cu urme albastre, care, într-o variantă constructivă a unei firme [1] are ecranul de imagine al tubului format dintr-o placă de mică (8 x 12 cm) prevăzută pe partea ei interioară cu un strat de clorură de potasiu. Fasciculul de electroni imprimă pe acest strat o urmă de culoare albastră direct proporţională ca mărime cu intervalul de timp care se măsoară. Tubul cu urme albastre, spre deosebire de tuburile catodice uzuale, trebuie luminat din exterior. Urmele albastre, care în condiţii normale se menţin cîteva zile, se pot şterge prin încălzire. Unele construcţii de astfel de aparate oferă posibilitatea subdivizării imaginei cu un avans automat în mai multe rînduri, intervalul de timp fiind reglat în trepte.

Limita erorii, care la unele construcţii atinge 1o% , poate fi redusă printr-o etalonare la frecvenţa reţelei.

9.4.2. Metode numerice

O schemă de măsurări care se bazează pe astfel de metode este arătată în fig. 9.5. La numărătorul cifric schematizat impulsurile furnizate de generatorul G (obişnuit cu comandă prin cuarţ) trec prin decada de reducere 2 şi prin poarta electronică 3 (care se deschide la începutul măsurării şi se închide la sfîrşitul măsurării ajungînd la decadele numărătoare, 4 Valoarea măsurată se citeşte la indicatorul 5 .

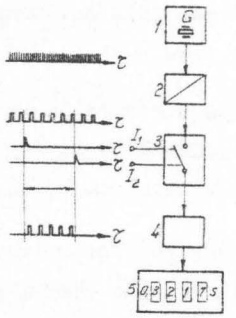


Fig. 9.5. Schema unui numărător cifric al intervalelor de timp.

Intervalul de timp între impulsurile care trec prin poartă se numeşte bază de timp şi constituie unitatea ultimei decade.

La măsurare de intervale de timp relativ mari, cu baze de $1o^{-1}$ sau 1 s, se poate folosi frecvenţa de reţea în locul frecvenţei generatorului.

In cazul unei alegeri şi folosiri corecte a instalaţiilor de măsurare numerice, acestea conduc la precizii mult mai mari decît cele realizabile cu instalaţii analogice.

9.5. Marcarea bazei de timp

Măsurarea frecvenţei pe o vibrogramă, măsurarea vitezei de variaţie a presiunii sau temperaturii la studiul unor fenomene cu ajutorul oscilografului etc. nu este posibilă dacă nu se trasează o scară a frecvenţelor care se numeşte bază de timp

sau marcarea timpului.

La aparatele la care rezultatele măsurărilor se obţin pe o bandă de înregistrare sau pe peliculă fotografică, impulsurile care dau baza de timp pot fi produse de un mecanism de ceasornic, de un diapazon, de o camă, de un disc care se roteşte cu turaţie cunoscută etc , înregistrarea făcîndu-se prin ac, peniţă sau pe cale fotografică.

Mecanismele de ceasornic pot da marcarea la intervale între o,1 şi 1 s , fie prin comandă directă a acului, fie prin intermediul unui electromagnet.

Diapazoanele pentru baza de timp se construiesc pentru frecvenţe cuprinse între 5o şi 5oo Hz. Cu cît viteza de derulare a hîrtiei este mai mare, cu atît se pot alege baze de timp cu frecvenţe mai ridicate.

Schema unui diapazon pentru baza de timp este arătată în fig, 9.6. Electromagnetul 1 şi ruptorul 2 cauzează **vibraţii** ale oglinzii 3 cu frecvenţa dorită. **Mişcarea** oglinzii produce semnalele luminoase care impresionează hîrtia fotosensibilă. La unele măsurări locul oglinzii este luat de o buclă a oscilografului magnetic care are rolul de a înregistra baza de timp.

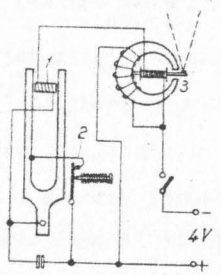


Fig. 9.6. Schema unui diapazon pentru baza de timp.

In cazul măsurărilor efectuate cu ajutorul osciloscopului, baza de timp este dată obişnuit de un generator de frecvenţă variabilă. Frecvenţa impulsurilor se reglează în funcţie de durata de desfăşurare a fenomenului studiat. In fig. 9.7 este dat un exemplu de obţinere pe o oscilogramă a variaţiei

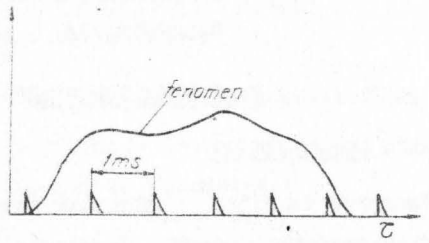


Fig. 9.7. Exemplu de înregistrare a bazei de timp.

mărimii studiate în funcţie de timp şi a bazei de timp corespunzătoare duratei fenomenului.

Detalii privind construcţii de baze de timp şi măsurare de timp, în general, se găsesc în lucrarea [5].

- BIBLIOGRAFIE -

1. Grave, H.F. Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1966.

2. Troskolanski, A.T. Théorie et Pratique des Mesures Hydrauliques. Ed. Dunod, Paris.

3. Сороко-Новицкий, В.И. Испытания автотракторных двигателей, Машгиз Москва, 1960

4. Buzdugan, Gh. Măsurarea vibraţiilor mecanice. Ed.Tehnică, Bucureşti, 1964.

5. Гевондян, Г.А и Киселев, Л.Г. Приборы для измерения и регистрации колебаний, Машгиз, Москва, 1962

Capitolul 1o

MĂSURAREA TURAȚIEI

1o.1. Generalități

Măsurarea turației[x] intervine frecvent la experimentarea mașinilor termice. Deoarece turația intervine în expresiile multor mărimi care se determină pe cale indirectă (de ex.puterea, coeficientul general de debit, debite ciclice la pompe etc.) este evident că,de precizia cu care aceasta se va determina, va depinde într-o anumită măsură și gradul de precizie a mărimii căutate. Din acest motiv,la alegerea procedeului de măsurare a turației, se va ține seama și de precizia care se obține. De asemenea, trebuie să se țină seama de valoarea turației de măsurat, de faptul dacă arborele este sau nu accesibil unui contact, dacă arborele poate furniza energia necesară traductorului de turație, de cheltuiala implicată de procedeu etc.

Dintre procedeele posibile pentru măsurarea turației se vor trata succint următoarele procedee :

- procedee mecanice ;
- procedee cu impuls ;
- procedee magnetice ;
- procedee electrice ;
- procedee de măsurare prin vibrații ;

x S.I. de unități prevede unitate de măsură numai pentru viteza unghiulară ω [rad/s]. Prin introducerea vitezei unghiulare $n = \frac{\omega}{2\pi}$ rezultă turația. Unii autori [3] definesc numărul de rotații efectuate în unitate de timp, frecvență de rotație.
In acest curs se utilizează ca unitate de măsură pentru turații rot/min.

- procedee stroboscopice ;
- procedee pneumatice .

1o.2. Măsurarea turației cu procedee mecanice

Aparatele mecanice pentru măsurarea turațiilor sînt contoarele de turații și tahometrele.

Contorul mecanic permite determinarea într-un mod simplu și suficient de sigur a numărului de rotații efectuate într-un interval de timp determinat. Ca rezultat se obține turația medie, n , în intervalul de timp τ în care contorul a măsurat numărul Z de rotații.

$$n = \frac{Z}{\tau} \qquad (1o.1)$$

Măsurarea se face prin apropierea contorului într-un timp determinat (la unele construcții se înglobează și un mecanism de ceasornic[x]) sau,în cazurile în care contorul este cuplat prin intermediul unui demultiplicator cu raport mai mare de demultiplicare (1/1oo, 1/2oo sau 1/5oo), se fac două citiri succesive la un interval de timp care se măsoară cu cronometrul (obișnuit 1 ÷ 2 minute).

La contoarele care lucrează prin apropiere trebuie să se aducă toate cifrele la zero înaintea fiecărei măsurări.

Aparatele mecanice utilizate pentru măsurarea turației momentane se numesc tahometre mecanice și funcționarea lor se bazează pe relația care stabilește că forța centrifugă crește cu pătratul turației maselor rotitoare, așa cum se întîmplă și la regulatoarele centrifuge.

x Contoarele prevăzute cu mecanisme de ceasornic care cuplează în mod automat axul contorului de arbore pentru un timp scurt, determinat și apoi automat îl decuplează, poartă numele de tahoscoape.

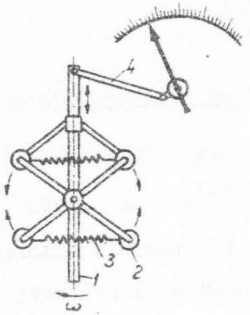


Fig.1o.1. Schema de principiu a tahometrului cu pendul centrifug.

1 - ax de antrenare ;
2 - mase ;
3 - resort antagonist ;
4 - pîrghie.

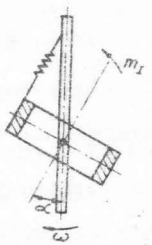


Fig. 1o.2. Schema de principiu a tahometrului cu pendul circular.

1 - ax de antrenare ;
2 - masă inelară ;
3 - resort ;
4 - glisieră.

Principiul de funcţionare este ilustrat în fig. 1o.1 şi 1o.2.

Aceste aparate sînt sensibile la vibraţii şi la schimbarea poziţiei datorită maselor oscilante.

Tahometrele de mînă utilizate în mod frecvent în practică folosesc aproape în exclusivitate procedeul cu pendul centrifug. Tahometrele de mînă uzuale permit măsurări de turaţii în domeniul cuprins între 4o rot/min şi 48.ooo rot/min.

Limitele erorilor se situează la cca ±o,5% din valoarea indicaţiei maxime pentru tahometrele de mînă şi la cca ± 1% din valoarea maximă a scării pentru aparatele de exploatare.

Deoarece tahometrele centrifuge cu arc prezintă dezavantajul că, datorită variaţiei turaţiei, proprietăţile elastice ale arcului se schimbă cu timpul şi ca urmare indicaţiile aparatului îşi pierd exactitatea, au fost concepute tahometre la care mecanismul de măsurare îşi menţine turaţia constantă. Schema unui astfel de tahometru este arătată în fig. 1o.3.

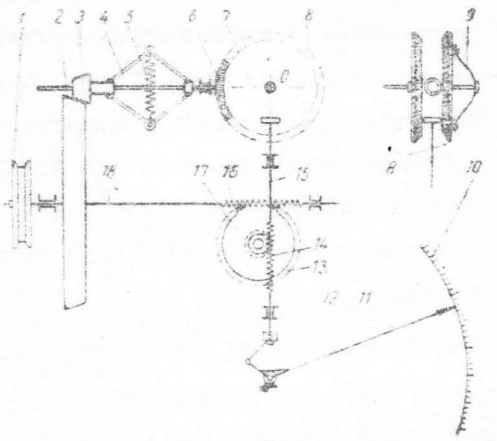


Fig. 1o.3 Schema tahometrului centrifug cu mecanism diferenţial.

Roata 1 antrenată în mişcare de arborele a cărui turaţie se măsoară, pune în mişcare prin intermediul roţilor cu fricţiune 2,3 regulatorul centrifugal 4. La o creştere a turaţiei peste o anumită limită forţa elastică a resortului 5 este învinsă de forţa centrifugă a contragreutăţilor, astfel încît contactul dintre roţile 2 şi 3 dispare. Dacă turaţia la care se produce această acţiune este aleasă astfel încît să fie inferioară turaţiei minime de măsură, atunci roata 3 se va roti cu o turaţie practic constantă şi egală cu turaţia la care dispare forţa de frecare dintre ea şi roata 2. In felul acesta arcul 5 este supus permanent aceleiaşi tensiuni. Pe axul regulatorului este fixată roata dinţată conică 6, angrenată cu roţile 8 între care se poate deplasa roata 7 fixată pe axul 15. Contactul permanent între roţile dinţate 8 şi roata 7 este realizat cu ajutorul resortului 9. Roata 7 fiind antrenată în mişcare de rotaţie de către roţile 8, va avea o turaţie a cărei

valoare depinde de poziţia ei în raport cu axul de rotaţie al roţilor 8. Axul 15 se poate deplasa între lagăre în sus sau în jos, fiind prevăzut cu un şurub fără de sfîrşit 14, prin care se angrenează cu roata 17. Roata 17 este antrenată în mişcare de către roata 13 care primeşte mişcarea prin intermediul şurubului fără de sfîrşit 16, de la axul 18. In timpul funcţionării roata 17 tinde să deplaseze în jos roata 7 pe cînd aceasta, antrenînd în rotaţie axul 11, îl va deşuruba ridicîndu-l în sus.

Echilibrul se va stabili atunci cînd poziţia roţii 7 va fi astfel încît viteza de coborîre a axului 15 va fi egală cu viteza de ridicare a acestuia. Deplasarea axului 15 se transmite la mecanismul de indicare (12, 11, 10).

10.3. Măsurarea turaţiei prin impulsuri

Măsurarea turaţiilor cu ajutorul impulsurilor se bazează în principiu pe obţinerea unor impulsuri la fiecare rotaţie a arborelui şi numărarea acestora cu ajutorul unui contor electromecanic sau electronic. Turaţiile determinate reprezintă valori medii pe intervalul de timp ales. Limitele erorilor pot fi restrînse din ce în ce mai mult la utilizarea acestor procedee de măsurare datorită perfecţionării continue a tehnicii de măsurare digitală.

10.3.1. Producerea impulsurilor

Impulsurile se pot produce prin mai multe procedee şi anume :

1. Pe cale mecanică cu ajutorul unor contacte acţionate de arborele a cărui turaţie se măsoară (fig.10.4). In funcţie de turaţie se pot intercala multiplicatoare sau demultiplicatoare de turaţie între arbore şi contacte.

2. Cu ajutorul traductorului inductiv a cărui schemă de principiu este arătată în fig. 10.5.

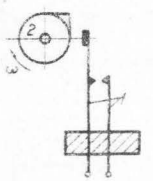


Fig. 10.4. Schema traductorului mecanic pentru impulsuri.
1 - lamele cu contacte;
2 - disc cu camă.

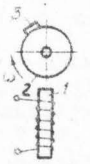


Fig. 10.5. Schema traductorului inductiv pentru impulsuri.
1 - bobină de inducţie;
2 - disc cu camă;
3 - magnet permanent.

3. Cu ajutorul tahogeneratorului pentru tensiune alternativă se obţine pe lîngă o tensiune, şi o frecvenţă proporţională cu turaţia.

4. Cu ajutorul sistemului de aprindere de la motoarele cu ardere internă cu electroaprindere. Impulsurile generate de aprindere au o frecvenţă, f , proporţională cu turaţia n conform relaţiei :

$$f = a.\ z\,\frac{n}{60} \qquad [Hz] \qquad (10.2)$$

în care $a = \frac{1}{2}$ la motoarele în patru timpi şi a = 1 la motoarele în doi timpi ;

z - numărul de cilindri ;

n - turaţia arborelui exprimată în rot/min .

5. Producerea impulsurilor pe cale fotoelectrică este relativ simplu de realizat, nu încarcă axul şi permite măsurări de turaţii ce depăşesc 100.000 rot/min. In fig.10.6.a.b.c.se

arată cîteva scheme pentru producerea fotoelectrică a impulsurilor.

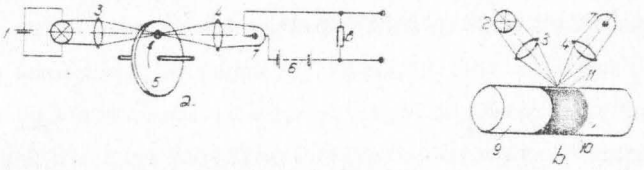


Fig. 1o.6. Diferite scheme pentru producerea impulsurilor pe cale fotoelectrică.
a - schema cu întreruperi ale razei luminoase; b,c - schema cu reflexie discontinuă a razei luminoase.
1 - sursa de curent; 2,3,4 - sistem optic; 5 - disc cu orificiu; 6 - surse de tensiune a celulei fotoelectrice; 7,8 - rezistenţă; 9 - arbore în rotaţie; 1o- parte înegrită; 11 - fîşie neînegrită; 12 - oglindă.

La utilizarea acestui procedeu schemele electronice folosite permit menţinerea limitelor erorilor într-o zonă foarte restrînsă în special în cazul turaţiilor ridicate. Astfel, limitele erorilor variază de la ±2% la n=1oo rot/min pînă la ± o,o1% pentru n=1o.ooo rot/min. Pentru obţinerea unor precizii mai ridicate la măsurare şi în cazul turaţiilor mici se utilizează discuri cu mai multe găuri, schema din fig. 1o.6.b, sau se lasă mai multe fîşii pentru reflectare (fig.1o.6.c).

1o.3.2. Măsurarea impulsurilor

Dintre procedeele utilizate pentru măsurarea impulsurilor se amintesc :

1. Procedeul bazat pe transformarea în mărimi de curent continuu. In cele mai multe metode de transformare a frecvenţei impulsurilor în curent continuu, fiecare impuls încarcă şi descarcă o capacitate. Valoarea medie a curentului de încărcare este proporţională cu frecvenţa căutată.

Pentru aplicarea acestui procedeu, încărcarea şi descărcarea alternantă poate fi efectuată cu diferite mijloace folosite ca întrerupător şi anume : acţionarea prin relee, acţionarea prin tiratron, acţionarea prin tranzistor sau cu un circuit basculant. Pentru exemplificarea unuia dintre aceste procedee se consideră măsurarea prin relee, schematizată în fig.1o.7. La fiecare rotaţie a arborelui a cărui turaţie se măsoară, contactul traductorului, 1, conectează şi deconectează alternativ releul 2. Fiind acţionat în acelaşi ritm şi contactul comutator a-b, condensatoarele C_1 şi C_2 se vor încărca şi descărca în acelaşi ritm. Incărcarea se face cu ajutorul bobinajului α al logometrului de la sursa de tensiune 4, iar descărcarea are loc prin rezistenţa R_1, respectiv R_2. Bobinajul α este străbătut în acest caz de curentul mediu de impuls I_α, dat de relaţia :

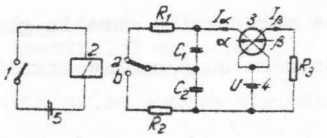


Fig. 1o.7. Măsurarea prin relee.

$$I_\alpha = K_1 \, n \, U \qquad (1o.3)$$

în care :

K_1 - este o constantă ;

U - tensiunea sursei de curent ;

n - frecvenţa impulsurilor (turaţia).

Bobinajul β al sistemului de măsurat este străbătut de curentul I_β dat de relaţia :

$$I_\beta = \frac{U}{R_3} \qquad (1o.4)$$

Făcînd raportul acestor două intensităţi de curent

şi notînd factorul constant cu K_1 se obţine relaţia :

$$\frac{I_{\alpha}}{I_{\beta}} = K_2 \cdot n \qquad (10.5)$$

care arată că deviaţia sistemului de măsurat depinde numai de turaţie.

Referitor la performanţele atinse la utilizarea acestor procedee, se menţionează, de exemplu, că s-au realizat convertori bazaţi pe scheme basculante monostabile care în gama de frecvenţe 5 ÷ 2oo Hz execută măsurări cu o eroare maximă de ±o,25%.

2. Numărarea impulsurilor care se produc într-un interval de timp dinainte stabilit. Metodele acestea dau o indicaţie numerică. Contoarele utilizate în acest scop sînt de tipul electromecanic şi electronic.

Contoarele de impulsuri de tip electromecanic se pot folosi în cazul frecvenţelor relativ joase (5÷4o Hz). Limita erorilor acestor instrumente este de o,1-o,2% . Aceste instrumente primesc impulsurile, în general, de la traductoare mecanice.

Contoarele electronice se pot utiliza pentru frecvenţe reduse, mari şi foarte mari [1].

10.4. Măsurarea turaţiei cu tahometrul cu curenţi turbionari

Tahometrele cu curenţi turbionari se construiesc pentru domenii de măsurare cuprinse între 2oo rot/min şi 1oo.ooo rot/min [3]. Schema unui astfel de aparat se arată în fig. 10.8. In carcasa 1 se învîrte axul 2 pe care este fixat un magnet permanent de formă circulară. Intre magnetul 3 şi rotorul inelar 4 (necesar închiderii circuitului magnetic) se află clopotul de aluminiu 5 pe al cărui ax se află acul indicator 7 şi

arcul spiral de readucere 6. Celălalt capăt al arcului este fixat pe cadranul gradat 8. In timpul măsurării, cînd axul tahometrului şi deci sistemul magnet-rotor se rotesc, în clopotul de aluminiu se induc curenţi turbionari care încearcă să-l antreneze în mişcare de rotaţie. Cu cît este mai ridicată turaţia magnetului, cu atît acţiunea sa asupra clopotului de aluminiu devine mai puternică.

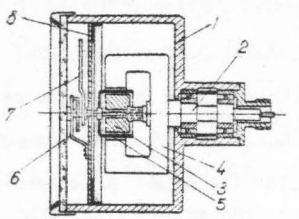


Fig. 10.8. Schema tahometrului cu curenţi turbionari.

La aceste tahometre indicaţia este liniară cu turaţia.

Limita erorilor pentru aceste tahometre se situează la ±1% din valoarea maximă a indicaţiei.

Datorită faptului că aceste aparate sînt puţin sensibile la trepidaţii, ele se utilizează şi ca "spidometre", adică indicator de viteză la autovehicule.

10.5. Măsurarea turaţiei cu traductoare electrice

Aparatele de măsurat electrice folosite pentru măsurarea turaţiilor se numesc tahogeneratoare. Funcţionarea lor se bazează pe principiul electrodinamic conform căruia tensiunea la bornele unui generator electric este funcţie de turaţie, U = f(n). Aceste aparate permit transmiterea indicaţiilor la distanţă.

Tahogeneratoarele se construiesc pentru tensiune continuă sau alternativă.

1. Tahogeneratoare de curent continuu. Construcţia lor este asemănătoare micromotoarelor, dar cîmpul de excitaţie este furnizat de magneţi permanenţi. Turaţia nominală este 75o ÷ 2ooo rot/min. La depăşirea limitei maxime a turaţiei pot apare

deranjamente la colector. Aceste aparate se pot utiliza pînă la 6ooo rot/min ,însă cuplarea se face în aceste cazuri prin intermediul reductoarelor.

Aceste aparate prezintă pe lîngă unele avantaje ca : posibilitatea măsurării turaţiilor reduse, indicarea sensului de rotaţie, abatere mică la liniaritate ($\leq$ o,5%) şi o serie de dezavantaje datorate existenţei colectorului, creşterea rezistenţei bobinajului cu temperatura, etc.

2. Tahogeneratoare de curent alternativ monofazat. Aceste tahogeneratoare se construiesc pentru intervalul de turaţii 14o ÷ 3ooo rot/min.La aceste tahogeneratoare bobinele sînt fixe şi magneţii mobili (fig. lo.9). In felul acesta nu mai este necesară comutaţia. Excitaţia se realizează prin magneţi permanenţi care, în general,au pînă la 12 perechi de poli ; la turaţii mici se foloseşte chiar şi un număr mai mare de perechi de poli. Frecvenţa tensiunii generate nu trebuie să scadă sub un minim cuprins între 4 şi lo Hz pentru a se putea obţine o poziţie stabilă a acului indicator. In fig.lo.lo se arată schema electrică şi schema funcţională a întregii instalaţii de măsurat.

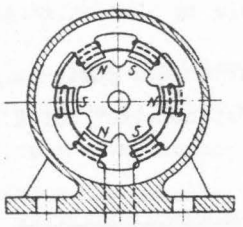


Fig. lo.9. Schema tahogeneratorului de curent alternativ monofazat.

Erorile de conversiune a turaţiei în tensiune la bornele tahogeneratorului sînt sub ±1%.

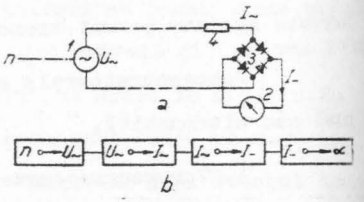


Fig. lo.lo. Schema de măsurare a turaţiei cu tahogeneratorul de curent alternativ monofazat. a-schema electrică; b-schema funcţională.

3. Tahogeneratoarele de curent alternativ polifazat sînt indicate pentru turaţiile mici. Au fost realizate construcţii pentru un domeniu minim de la o la 3o rot/min.

lo.6. Măsurarea turaţiei pe cale stroboscopică

Efectul stroboscopic se bazează pe proprietatea ochiului omenesc de a reţine pe retină încă o zecime de secundă,imaginea unui obiect privit scurt timp. Astfel, dacă imaginea unui obiect în mişcare de rotaţie apare numai pentru perioade scurte de timp iar procesul se desfăşoară rapid (timpul la care se succed imaginile să fie mai mic ca 1/lo s), observatorul poate avea impresia că obiectul vizat este în repaus. In cazul în care imaginile se succed numai puţin mai rapid sau mai lent în raport cu succesiunea corespunzătoare unei rotaţii complete, obiectul pare că se roteşte încet într-o parte sau cealaltă, astfel că observatorul sesizează o mişcare lentă în locul unui proces care se desfăşoară rapid. Determinarea turaţiei cu această metodă se face pe baza frecvenţei stroboscopului prin care, dacă se priveşte obiectul în rotaţie, imaginea apare fixă.

Efectul stroboscopic poate fi realizat prin metoda diafragmei (discul cu crestături sau fante) sau cu ajutorul unor lămpi comandate periodic (stroboscopul cu sclipiri luminoase).

In cazul metodei diafragmei, obiectul rotitor este observat printr-un disc în mişcare de rotaţie, prevăzut, aşa cum s-a mai arătat, cu crestături sau fante. Pentru determinarea unei anumite turaţii este necesară măsurarea turaţiei discului în momentul cînd imaginea este imobilă, cu una din metodele descrise.

In cazul stroboscopului cu sclipiri luminoase discul (sau direct axul) care se roteşte este iluminat intermitent

obţinîndu-se o imagine fixă atunci cînd frecvenţa iluminărilor este identică cu numărul de rotaţii pe secundă.

Elementul principal al stroboscoapelor moderne electronice este lampa fără inerţie umplută cu neon (lumină roşie), la care durata impulsului luminos este de $10 \div 15$ μs sau lampa mai puternică umplută cu xenon la înaltă presiune, la care durata impulsului este de $3 \div 10 \mu s$. Astfel de lămpi cu aprindere instantanee se întîlnesc sub denumirea de lampă "Blitz" sau "Flash".

In fig. 10.11 se arată o schemă de montare a unei astfel de lămpi la grila căreia se produc, cu ajutorul unui montaj cu multivibrator, impulsuri periodice de frecvenţă reglabilă. La fiecare producere de impuls condensatorul C se descarcă aprinzînd lampa care va emite o sclipire luminoasă foarte intensă, care durează $3 \div 15$ μs funcţie de tipul lămpii.

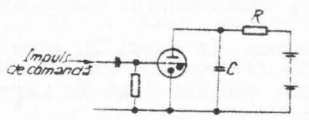


Fig.10.11.Schema de principiu pentru conexiunile unei lămpi "Blitz" sau "Flash"

Dacă se luminează corpul care se roteşte cu turaţia n_x cu un stroboscop la care sclipirile luminoase se succed cu o frecvenţă reglabilă şi dacă se reglează frecvenţa acestor sclipiri la valoarea n_s la care se obţine o imagine fixă, este valabilă relaţia :

$$n_x = i \cdot n_s \qquad (10.6)$$

Pentru determinarea factorului întreg i trebuie să se cunoască ordinul de mărime al lui n_x. In caz contrar, se determină frecvenţa imediat inferioară la care se obţine de asemenea, starea de repaus. In acest caz se poate scrie

relaţia :

$$n_x = (i+1)\, n'_s \qquad (10.7)$$

Din relaţiile (10.6) şi (10.7) rezultă

$$n_x = \frac{n_s \cdot n'_s}{n_s - n'_s} \qquad (10.8)$$

Stroboscopul cu sclipiri luminoase prezintă o serie de avantaje ca : permite măsurarea turaţiilor mari şi foarte mari, permite măsurarea turaţiei axelor greu accesibile şi nu încarcă axul.

La turaţii mai mici ca 600 rot/min apar dificultăţi deoarece imaginea pîlpîie.

Este una din cele mai indicate metode de măsurare pentru turaţiile mari întîlnite la grupurile de supraalimentare antrenate cu turbină cu gaz. Cu ajutorul ei se mai pot determina uniformitatea mişcărilor de rotaţie şi frecvenţa oscilaţiilor.

Erorile sînt cuprinse între $\pm 1\%$ şi $\pm 2\%$.

10.7. Măsurarea turaţiei cu procedee pneumatice

La utilizarea acestor procedee, turaţia care se măsoară acţionează ca mărime de intrare dînd naştere unei presiuni de ieşire proporţională cu pătratul turaţiei.

Literatura de specialitate aminteşte cazuri în care s-au măsurat turaţiile cu ajutorul unor aparate de măsurat presiunea uleiului sau a apei din conducta de refulare a pompei de ulei, respectiv de apă, în cazul încercării la stand a unor motoare cu ardere internă.

In cazul utilizării procedeului de antrenare a patru

pompe mici, cu membrană de către un disc oscilant antrenat în mişcare de axul a cărui turaţie trebuie determinată, pentru turaţii cuprinse între o şi 1500 rot/min, presiunea de ieşire variază între o şi 200 mm H_2O .

- BIBLIOGRAFIE -

1. Grave, H.F. — Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice. Ed.Tehnică, Bucureşti, 1966.

2. Сороко-Новицкий, В.И. — Испытания автотракторных двигателей, Машгиз Москва, 1960.

3. Tölle, H. — Măsurări în instalaţiile termice. Ed.Tehnică, Bucureşti, 1972.

4. Stratulat, M. şi Munteanu, S.D. — Încercarea motoarelor cu ardere internă. Ed.Tehnică, Bucureşti, 1966.

Capitolul 11

MĂSURAREA FORŢEI, MOMENTULUI DE ROTAŢIE ŞI PUTERII MECANICE

11.1. Generalităţi

Prin forţă se înţelege cauza modificării formei sau a deplasării unui corp, ca viteză şi direcţie. Forţa este o mărime vectorială, iar unitatea ei de măsură în SI este newtonul (N)

$$1\ N = 1\ Kg.m.\ s^{-2}$$

Unitatea tolerată pentru forţă, care se utilizează încă frecvent în calculele tehnice, este kilogramul-forţă (Kgf):

$$1\ Kgf = 9{,}81\ N = 9{,}81\ Kg.m.s^{-2}.$$

Forţa este definită prin relaţia :

$$F = m.a \qquad (11.1)$$

în care m este masa şi a acceleraţia.

Măsurarea forţei intervine adeseori în cadrul maşinilor termice. Astfel, se pot aminti: măsurarea forţei de tracţiune la încercarea motoarelor cu reacţie la bancul de probă, măsurarea forţelor exercitate asupra paletelor de turbine sau compresoare în cazul încercării acestora în tunelurile aerodinamice, măsurarea forţei exercitate de jeturile care se scurg prin ajutajele ce se experimentează, măsurarea forţelor în timpul efectuării echilibrajului etc.

Cînd o forţă acţionează la o anumită distanţă de o axă asupra unui corp care se poate roti în jurul axei, apare un moment de rotaţie definit de relaţia :

$$M = F.l \qquad (11.2)$$

în care : F este forţa şi l lungimea eficace a braţului forţei.

Adeseori se substituie în mod necorespunzător termenul de cuplu termenului de moment produs de cuplu. Trebuie făcută diferenţa între sistemul de forţe care reprezintă un cuplu şi momentul produs de către acest sistem de forţe respectiv de către cuplu. Pentru uşurinţa exprimării, în cele ce urmează în loc de moment produs de cuplu, se va scrie moment de rotaţie sau momentul cuplului.

Unitatea de măsură pentru momentul de rotaţie, în SI este joule-ul

$$1\ J = 1\ N.m. = 1\ Kg.m^2.s^{-2}$$

Măsurarea momentului de rotaţie transmis cu ajutorul unui ax în mişcare de rotaţie prezintă importanţă atît la maşinile termice producătoare de energie (motoare cu ardere internă cu piston şi turbine cu abur şi gaze) cît şi la maşinile termice consumatoare de energie din exterior (compresoare). In multe situaţii măsurarea momentului de rotaţie reprezintă o parte necesară pentru măsurarea puterii la ax.

Puterea se calculează cu ajutorul următoarelor relaţii :

a. Mişcare rectilinie

$$P = \frac{W}{\tau} ; \qquad (11.3)$$

$$P = F.v = F\ \frac{ds}{d\tau} \qquad (11.4)$$

b) Mişcarea de rotaţie

$$P = M.\omega = M\ \frac{d\varphi}{d\tau}\ , \qquad (11.5)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n\ ;$$

$$P = 2 \cdot \pi \cdot M.n \qquad (11.6)$$

unde : P este puterea ;

W - lucrul mecanic ;

τ - timpul ;

F - forţa ;

v - viteza ;

M - momentul de rotaţie ;

φ - unghiul parcurs ;

ω - viteza unghiulară ;

n - turaţia.

In tabela 11.1 sînt trecute diversele unităţi de măsură ale puterii.

- Tabela 11.1 -

Relaţii numerice între unităţile de măsură pentru putere

	$Kgf.m.s^{-1}$	$Kcal.s^{-1}$	kW	CP
1 $Kgf.m.s^{-1}$	1	$2,342.1o^{-3}$	$9,81.1o^{-3}$	$1,334.1o^{-2}$
1 $Kcal.s^{-1}$	$4,269.1o^{2}$	1	4,187	5,694
1 kW	1o2	$2,388.1o^{-1}$	1	1,36
1 CP	75	$1,757.1o^{-1}$	o,736	1

Măsurarea puterii furnizate sau absorbite de maşina termică intervine atît la încercarea acestor maşini la bancu-

rile de probă, cît şi uneori, direct la locurile de instalare.

11.2. Procedee pentru măsurarea forţelor

Procedeele de măsurare a forţelor realizează de regulă o stare de echilibru între forţa de măsurat şi o forţă cunoscută.

Metodele de măsurare a forţelor se pot împărţi astfel:

a. Măsurări mecanice ale forţelor;

b. Măsurări hidraulice ale forţelor;

c. Măsurări electrice ale forţelor.

La alegerea metodei de măsurare a forţelor se va ţine seama de regimul de acţiune a acestora (static, cvasistatic sau dinamic). Astfel, pentru măsurarea forţelor cu acţiune dinamică se folosesc în special aparate electrice.

11.2.1. Măsurarea mecanică a forţelor

Dintre metodele mecanice de măsurare a forţelor utilizate pentru forţele cu acţiune statică sau cvasistatică se pot aminti balanţele care permit determinarea directă a masei şi dinamometrele cu resort la care mărimea săgeţii unui resort elicoidal de torsiune sau lamelar, este folosită ca măsură a forţei.

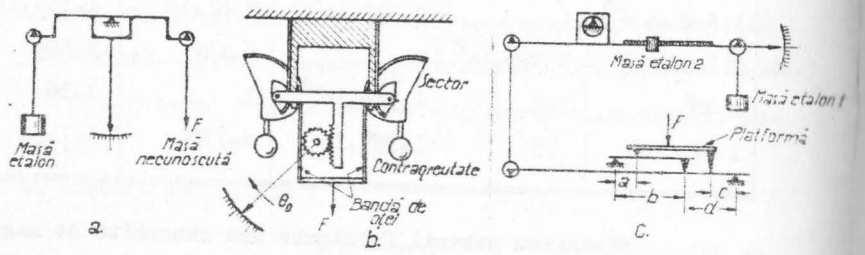


Fig. 11.1
a. balanţă analitică; b. balanţă tip pendul;
c. balanţă tip platformă.

In fig. 11.1 sînt redate schemele balanţei analitice, cu pendul şi tip platformă.

Tabela 11.2 cuprinde clasificarea balanţelor analitice.

- Tabela 11.2 -

Tipuri de balanţe analitice

Tipul balanţei	Domeniul de măsurare g.	Rezoluţia g
Macroanalitică	2oo - 1ooo	$1o^{-4}$
Semimicroanalitică	5o - 1oo	$1o^{-5}$
Microanalitică	1o - 2o	$1o^{-6}$
Microbalanţă	mai puţin ca 1	$1o^{-6}$
Ultramicrobalanţă	mai puţin ca o,o1	$1o^{-7}$

Balanţele analitice cu sensibilitate mare se instalează în camere speciale şi cer multă atenţie din partea operatorului în timpul efectuării cîntăririlor.

In cazul balanţelor pendul sectoarele de care sînt rigidizate contragreutăţile pendulare au forme speciale pentru a liniariza cuplul.

In ceea ce priveşte balanţa tip platformă trebuie menţionată caracteristica interesantă a acesteia că, dacă a/b=c/d indicaţiile acesteia sînt independente de punctul de pe platformă unde acţionează forţa.

In timp ce balanţele analitice servesc numai pentru operaţii de cîntărire, balanţele de tip pendul şi platformă pot servi şi pentru măsurarea forţelor în cazul determinării puterii transmise de axe în rotaţie.

Dinamometrele cu resort se pot utiliza pentru sarcini

de mărimi foarte diferite. Etalonarea dinamometrelor cu resort se face prin agăţarea unor mase cunoscute, respectiv la dinamometrele pentru forţe foarte mari, prin acţionarea cu forţe cunoscute.

In cazul măsurării cu precizie a unor forţe, ca de exemplu,la frînele de putere, se folosesc dinamometre. Valoarea măsurată este indicată în aceste cazuri de un aparat sensibil. Limitele erorilor, în procente din indicaţia maximă pentru aceste aparate de măsurat se ridică la ± 0,6%...± 1,0% la dinamometre de comprimare, ± 1%...± 2% la dinamometre de întindere şi ± 0,05%...± 0,1% la micrometrele cu potcoave de măsurare a forţelor. In fig. 11.2 se arată schematizat, procedeul de determinare a unei forţe necunoscute cu ajutorul măsurării acceleraţiei imprimate de către această forţă, unei mase de valoare cunoscută.

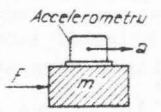


Fig. 11.2
Schema de principiu pentru determinarea forţei cu ajutorul măsurării acceleraţiei.

11.2.2. Măsurarea hidraulică a forţelor

In principiu o capsulă sau doză pentru măsurarea hidraulică a forţelor conţine o membrană (fig.11.3) sau un piston prin intermediul cărora forţa necunoscută se transmite unui lichid sau gaz, crescînd presiunea acestora. Ca mediu de transmitere a presiunii se utilizează în special lichidele. Indicarea valorilor măsurate se face cu manometre sau aparate indicatoare.

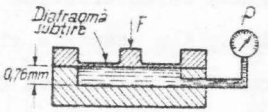


Fig. 11.3
Element cu membrană pentru măsurarea hidraulică a forţelor.

In funcţie de tipul capsulei erorile de măsurare va-

riază între ± 0,1% şi ± 2% din valoarea maximă a domeniului de măsurare.

11.2.3. Măsurarea electrică a forţelor

Măsurarea pe cale electrică a forţelor se aplică în cazurile cînd acestea îşi schimbă rapid valoarea în timp sau cînd nu sînt admise decît deplasări foarte mici.

Pentru măsurarea pe cale electrică a forţelor se pot utiliza diferite capsule de măsurare şi anume: cu cărbune, rezistive cu semiconductoare, cu mărci tensometrice, magnetoelastice, inductive, capacitive şi piezoelectrice.

Principiul de funcţionare al unora dintre aceste capsule de măsurare este asemănător cu principiul de funcţionare al unor traductoare de presiune descrise în subcapitolul 6.9.

In fig. 11.4, 11.5 şi 11.6 sînt redate cîteva exemple de astfel de capsule de măsurare.

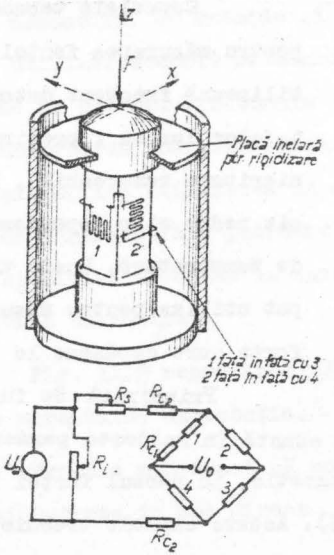


Fig. 11.4
Capsulă tensometrică de măsurare a forţelor şi schema de măsurare.

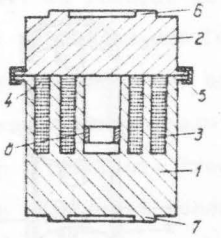


Fig. 11.5
Capsulă magnetoelastică de măsurare a forţelor.
1- corp din material magnetic; 2- capac; 3-bobinaj; 4- inele din tablă de oţel; 5- inel presat; 6,7- suprafeţe inelare; 8-conductor "cald" pentru compensarea de temperatură a impedanţei.

La capsula tensometrică de măsurare arătată în fig. 11.4 datorită faptului că mărcile tensometrice 1 şi 3 sînt supuse la solicitările cauzate de forţa F, iar mărcile tensometrice 2,4 sînt supuse la solicitările transversale cauzate de raportul μ a lui Poisson, sensibilitatea creşte de $2(1+\mu)$ ori în raport cu o capsulă la care ar exista o singură marcă tensometrică într-un montaj în punte. In vederea obţinerii unor precizii de măsurare ridicate (erori cuprinse între ± o,1% şi ± o,3% din limita maximă a domeniului de măsurare) se introduc în schemă rezistenţe de compensare ca : R_{c_1} pentru compensarea coeficienţilor diferiţi de temperatură ai celor patru mărci tensometrice, R_{c_2} pentru compensarea variaţiei modulului de elasticitate a elementului deformabil cu temperatura şi uneori rezistenţele reglabile R_s în vederea fixării sensibilităţii dorite pentru o tensiune de alimentare, U_o , dată şi R_1 pentru reglarea impedanţei de intrare.

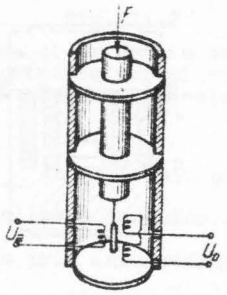


Fig. 11.6
Capsulă inductivă cu transformator diferenţial.

Capsulele tensometrice pentru măsurarea forţelor se utilizează frecvent datorită avantajelor lor ca : prezintă o liniaritate remarcabilă, histerezis redus şi o dependenţă redusă de temperatură. Unele tipuri se pot utiliza pentru măsurări de forţe care depăşesc lo M N .

Principiul de funcţionare al capsulei magnetoelastice constă în scăderea permeabilităţii magnetice a unui material magnetic, în sensul forţei la care acesta este supus (fig. 11.5). Aceste capsule trebuie să fie alimentate cu curent alternativ pentru a putea sesiza modificările de inductivitate ale unei bobine închise într-un miez

de fier. Pentru măsurare, se pot utiliza în principiu toate punţile de măsurare şi schemele de compensare alimentate în curent alternativ. Capsulele magnetoelastice permit măsurări de forţe cuprinse între 6o daN şi 1,5 MN cu erori care variază între ±o,5% şi ±2% din valoarea maximă a indicaţiei scării.

Capsulele inductive pentru măsurarea forţelor au sensibilitate ridicată şi se utilizează în general pentru măsurări de forţe relativ reduse.

11.3. Măsurarea momentului de rotaţie şi puterii mecanice

Măsurarea puterii mecanice furnizată de către o maşină termică producătoare de energie sau absorbită de către o maşină termică consumatoare de energie se poate face fie direct cu ajutorul unor frîne sau, respectiv, instalaţii speciale, prin măsurarea puterii motorului de antrenare, fie prin măsurarea momentului de rotaţie şi a turaţiei. In funcţie de procedeul utilizat această măsurare poate fi făcută cu, sau fără pierdere de putere. Procedeele cu pierdere de putere se bazează pe transformarea energiei mecanice în energie termică sau electrică şi implică utilizarea în acest scop a frînelor. Procedeele de măsurare fără pierdere de putere utilizează scheme sau dispozitive speciale la care puterea preluată este egală cu puterea transmisă.

Fig. 11.7 reprezintă schematizarea procedeelor de măsurare a momentului de rotaţie.

Trebuie menţionat că unele din aceste procedee pot măsura şi puterea în mod direct.

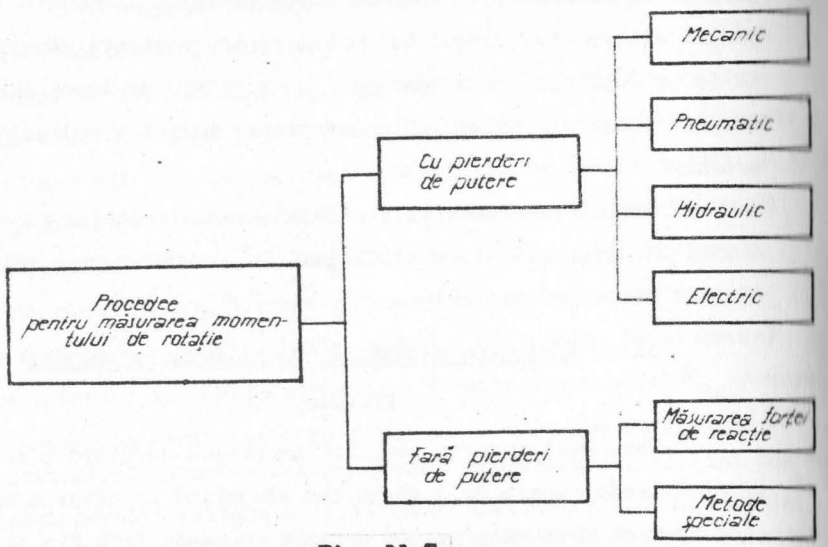


Fig. 11.7
Schematizarea procedeelor de măsurare a momentelor de rotație.

11.3.1. Procedee de măsurare a momentului de rotație

11.3.1.1. Frîne mecanice

Frînarea mecanică la aceste frîne se realizează datorită frecării care ia naștere între un tambur fixat pe axul mașinii termice și saboții, banda sau cablul care se apasă cu o forță cunoscută pe periferia acestuia.

11.3.1.1.1. Frîne cu saboți

Frîna cu saboți, căreia i se spune și frîna Prony, (fig. 11.8) se compune dintr-o pereche de saboți apăsați pe un tambur de frînare fixat pe axul mașinii, cu o forță F , cu ajutorul unor șuruburi de strîngere.

Datorită forței de strîngere, în timpul rotirii tambu-

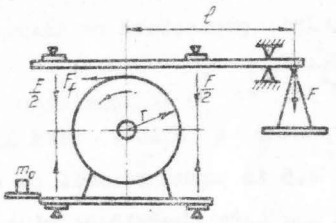


Fig. 11.8
Frîna Prony.

rului de frînare se dezvoltă o forță de frecare, F_f care are valoarea

$$F_f = \mu \cdot F \qquad (11.7)$$

în care μ este coeficientul de frecare, iar F are semnificația cunoscută.

Această forță de frecare creează un moment care tinde să antreneze saboții în sensul mișcării, iar suma dintre forța F_1 datorită greutății pusă în taler și forța F_o produsă de greutatea cu care brațul pîrghiei acționează în stare de repaus și în absența oricărei frecări asupra balanței, creează un moment de aceeași mărime dar de semn contrar.

$$M = F \cdot \mu \cdot r = (F_1 + F_o) \cdot l \qquad (11.8)$$

Suma dintre forțele F_1 și F_o poartă numele de încărcare efectivă.

$$F_e = F_1 + F_o \qquad (11.9)$$

Cu ajutorul valorii lui M, calculată pe baza rezultatelor experimentale, așa cum s-a arătat mai sus și a relației (11.5), se poate determina puterea utilă la axul mașinii.

La proiectarea unei astfel de frîne trebuie să se țină seama de relația :

$$b \cdot d > \frac{1o2 \cdot P}{q} \qquad (11.1o)$$

în care b este lățimea sabotului [cm] ;
d - diametrul tamburului de frînare [cm] ;
P - puterea utilă [kW] ;

q - căldura evacuată într-o secundă pe unitatea de suprafaţă a sabotului proiectată pe diametrul tamburului $\left[\frac{Kcf \cdot m}{cm^2 \cdot s}\right]$.

Valorile recomandate pentru q sînt : pînă la o,5 în cazul răcirii cu aer, pînă la 2,5 în cazul răcirii cu apă şi pînă la 5 în cazul răcirii cu apă care circulă cu viteză mare.

Pentru puteri mai mari de 3 kW , în general, încălzirea datorită frecării devine prea mare impunîndu-se răcirea cu apă.

In funcţie de natura materialului suprafeţei de pe sabot, care vine în contact cu tamburul de frînare , această suprafaţă va fi sau nu unsă. Astfel, plăcile de ferodou necesită ungere pe cînd suprafeţele garniturilor din azbest nu trebuiesc unse în mod obligator.

Frînele cu saboţi deşi sînt relativ simple putîndu-se construi pentru puteri pînă la cîteva sute de kilowaţi, nu sînt prea răspîndite.

11.3.1.1.2. Frîna cu bandă

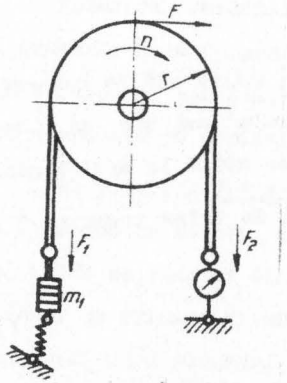


Fig. 11.9
Frîna cu bandă

Pentru puteri reduse se poate folosi uneori frîna mecanică cu bandă (fig. 11.9).

La această frînă un capăt al benzii este legat la un dinamometru,iar la celălalt capăt se fixează mase cunoscute m_1 , care sînt asigurate cu un arc contra alunecării. La această frînă momentul se determină direct din forţele de apăsare astfel încît se poate scrie condiţia de echilibru :

$$F_1 \cdot r - F_2 \cdot r - F \cdot r = 0$$

de unde rezultă :

$$F = F_1 - F_2 \qquad (11.11)$$

Momentul are mărimea :

$$M = (F_1 - F_2)\, r \qquad (11.12)$$

unde : r = raza tamburului + 1/2 grosimea benzii.

Si în acest caz, puterea utilă la axul maşinii se va calcula cu ajutorul relaţiei (11.5).

Raportul dintre forţele F_1 şi F_2 se calculează pe baza legii frecării cablurilor :

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu\alpha} \qquad (11.13)$$

unde μ este coeficientul de frecare, iar α unghiul de înfăşurare.

La această frînă se modifică frecarea benzii în timpul funcţionării,îngreunîndu-se astfel reglajul.

11.3.1.1.3. Frîna cu cablu

Pentru măsurări simple de puteri mici se poate folosi uneori frîna cu cablu (fig. 11.1o), la care cablul care înfăşoară tamburul de frînare are capătul superior legat la un dinamometru,iar capătul inferior este încărcat cu mase cunoscute.

Forţa pe circumferinţă fiind rezultatul diferenţei dintre forţa F_2, indicată de dinamometru şi forţa F_1 ,

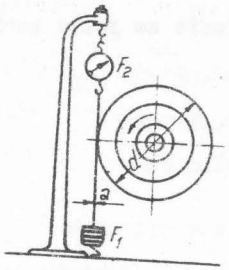


Fig. 11.10
Frîna cu cablu

produsă de masele cunoscute, rezultă pentru momentul de rotaţie :

$$M = (F_2 - F_1)\frac{d+a}{2} \qquad (11.14)$$

Cu ajutorul relaţiei (11.5) se va putea calcula puterea.

Aceste frîne sînt mai puţin indicate pentru măsurări deoarece reacţionează cu şocuri la umezeală şi lubrifianţi şi sînt greu de reglat.

11.3.1.2. Frîne pneumatice (cu aer)

Frîna cu aer (mulineta) este cel mai simplu agregat de frînare pentru motoarele cu ardere internă. Aceste frîne se compun fie dintr-un braţ pe care se fixează simetric cîte o placă (fig.11.11), fie dintr-o elice cu pas variabil. Frîna absoarbe energia dezvoltată de motor prin frecarea rotorului cu aerul. Momentul cuplului de frînare depinde de parametrii mediului ambiant, de pătratul turaţiei, precum şi de dimensiunile plăcilor şi distanţa de plasare a lor faţă de axa de rotaţie, respectiv, de tipul şi pasul elicei. La utilizarea acestor frîne, momentul cuplului de frînare se poate determina fie pe baza graficelor de etalonare (fig.11.12) trasate pentru diferite condiţii ambiante şi poziţii ale plăcilor (respectiv funcţie de pasul elicei), fie măsu-

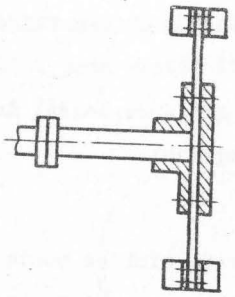


Fig. 11.11
Reprezentarea schematică a unei frîne cu aer cu aripioare

rînd momentul de răsturnare a motorului (fig. 11.13).

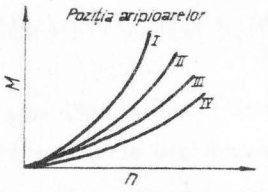


Fig. 11.12
Caracteristicile unei frîne cu aer.

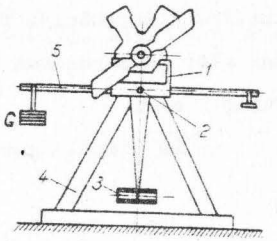


Fig. 11.13
Măsurarea momentului cuplului motor efectiv cu o frînă cu aer.
1- cadru basculant; 2- lagăre; 3- masă fixată pentru coborîrea centrului de greutate; 4- suporturi; 5- braţ solidarizat cu cadrul 4.

Puterea frînată cu o astfel de frînă satisface relaţia :

$$P = K \cdot n^3 \qquad (11.15)$$

în care K este o constantă a cărei valoare depinde de densitatea aerului ambiant, de modul de plasare a frînei şi se modifică în funcţie de schimbarea dimensiunilor şi poziţiei plăcilor sau de modificarea pasului elicei.

Precizia de măsurare cu astfel de frîne este relativ redusă prin faptul că, presiunea, temperatura, umiditatea şi curenţii influenţează măsurarea.

Din acest motiv frînele cu aer se folosesc destul de rar, în special pentru încărcarea motoarelor de automobile şi avioane.

11.3.1.3. Frîne hidraulice

La aceste frîne lucrul mecanic dezvoltat de ax este consumat pentru învingerea frecărilor interne (moleculare) ale lichidului precum şi a frecărilor dintre lichid şi suprafe-

ţele rotorului şi statorului, fiind transformat în căldură. Deoarece frecarea internă a lichidului produce o dependenţă pătratică a momentului faţă de turaţie, aceste frîne se pretează mai ales la măsurarea momentelor de rotaţie ale maşinilor cu turaţii mari.

In timpul funcţionării frînei (fig. 11.14) apa este antrenată şi aruncată spre extremitatea rotorului, respectiv a carcasei, iar ca urmare frecarea apei caută să rotească şi carcasa. Cu cît grosimea stratului inelar de apă este mai mare, cu atît mai mare este şi porţiunea din suprafaţa rotorului, respectiv a carcasei, care se freacă de apă.

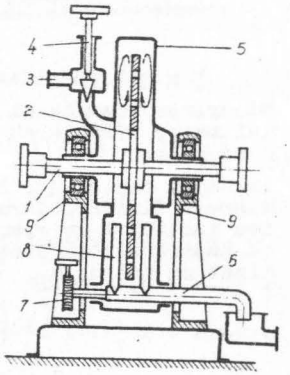


Fig. 11.14. Schema de principiu a frînei hidraulice

1- ax; 2- rotor; 3- racord de alimentare cu apă; 4- ventil; 5- carcasă oscilantă; 6- conductă evacuare; 7- roată melcată; 8- ştuţuri rabatabile; 9- suporturi.

Pentru a urmări modul în care dimensiunile frînei şi turaţia rotorului acesteia influenţează asupra momentului de frînare, se consideră discul rotor (fig.11.15) şi se introduc următoarele notaţii :

R_e - raza exterioară a discului;

R_a - raza interioară a inelului de apă ;

μ - coeficientul de frecare ;

V_r - viteza relativă dintre disc şi apă, care poate fi

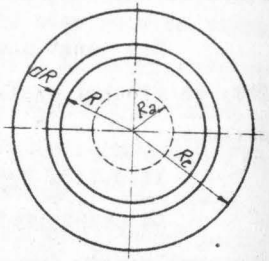


Fig. 11.15. Discul rotor al frînei hidraulice.

considerată o fracţiune i din viteza, V, de rotaţie a discului.

Pentru o rază oarecare R (fig. 11.15), viteza de rotaţie a discului este :

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot R.n}{60}.$$

n fiind turaţia discului.

Forţa de frecare elementară corespunzătoare suprafeţei elementare $2 \pi R \, d R$ este dată de relaţia :

$$d F_f = 2\mu \cdot 2\pi R \left(\frac{\pi \cdot R.n.i}{60}\right)^2 d R$$

iar momentul de frînare corespunzător, este :

$$d M_f = R. \, d F_f$$

Prin integrare se obţine momentul total de frînare :

$$M_f = C. \mu \cdot n^2 (R_e^5 - R_a^5) \qquad (11.16)$$

unde $C = 8,9.10^{-4} . \pi^3 . i^2$.

Din analiza ultimei relaţii se constată că momentul de frînare depinde, la aceleaşi dimensiuni ale frînei, de coeficientul de frecare μ . Din acest motiv, pentru mărirea eficacităţii, frînele moderne sînt prevăzute cu mai multe discuri, cu şicane, nervuri, cavităţi, atît în rotor cît şi în carcasă.

Pentru o turaţie dată există posibilitatea varierii momentului de frînare cu ajutorul reglajului cantităţii de apă în frînă care conduce la modificarea valorii razei interioare R_a. Totodată, stabilitatea funcţionării frînei depinde de posi-

bilitatea menţinerii acestei raze la o valoare riguros constantă. Avînd în vedere că presiunea în reţeaua de apă înregistrează fluctuaţii, se recomandă ca alimentarea cu apă a frînei să se facă de la un rezervor (instalat obişnuit la o înălţime de cca 4 m în raport cu axa frînei) prevăzut cu plutitor, pentru menţinerea nivelului constant.

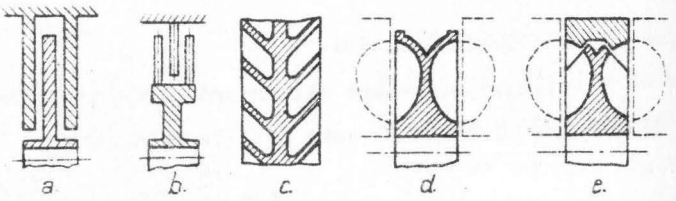


Fig. 11.16

a - rotor cu discuri; b - rotor cu serii de ştifturi;
c - rotor ireversibil cu palete; d - rotor cu cavităţi;
e - rotor cu cavităţi pentru viteze de rotaţie mari.

Debitul de apă care circulă prin frînă se calculează cu relaţia :

$$M_a = \frac{1000\ P}{C.\ (t_e - t_i)} \qquad (11.17)$$

unde : P este puterea transmisă la axul frînei [KW] ;

C - căldura specifică a apei [J/Kg.grd] ;

t_i - temperatura apei la intrarea în frînă [°C] ;

t_e - temperatura apei la ieşirea din frînă [°C] .

Consumul de apă de răcire este de 13 ÷ 20 l pentru 1 KWh.

Intrucît nu trebuie să se producă abur, deoarece bulele de abur produc o funcţionare neuniformă a frînei, debitul de apă trebuie astfel reglat, încît temperatura de ieşire să nu depăşească 70 ÷ 75°C.

In funcţie de puterea frînelor şi a disponibilităţilor de apă, apa poate circula în circuit deschis sau închis.

Măsurarea momentului cuplului motor la aceste frîne, se face cel mai simplu cu ajutorul maselor care se atîrnă de capătul unui braţ de pîrghie, rigidizat cu carcasa oscilantă (fig. 11.17).

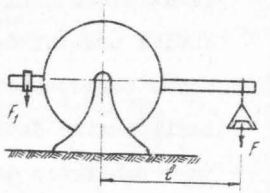


Fig. 11.17
Măsurarea momentului cuplului motor cu un braţ de pîrghie.

In prezent, pentru măsurarea momentului cuplului motor se folosesc dispozitive de cîntărire cu pîrghii sau pendulare.

O caracteristică importantă a unei frîne hidraulice este gradul de sensibilitate definit ca raportul dintre momentul minim, sub acţiunea căruia frîna în stare de nefuncţionare şi decuplată de motor este scoasă din poziţia de echilibru şi mărimea momentului cuplului motor ce se măsoară.

Pentru creşterea gradului de sensibilitate al frînei este necesar ca execuţia şi montajul acesteia să fie astfel făcută, încît rezistenţele la oscilaţie să fie minime.

In fig. 11.18 este redată caracteristica unei frîne hidraulice. Ţinînd seama de relaţiile (11.16) şi (11.5) rezultă că prima porţiune O - A a acestei caracteristici este o curbă cubică în raport cu turaţia. Porţiunea O - A este trasată pentru umplerea frînei cu apă pînă la refuz. Punctul A marchează punctul de funcţionare a frînei, cînd se atinge valoarea maximă admisibilă a momentului de torsiune care solicită axul acesteia.

Pe porţiunea A - B momentul cuplului motor îşi păstrea-

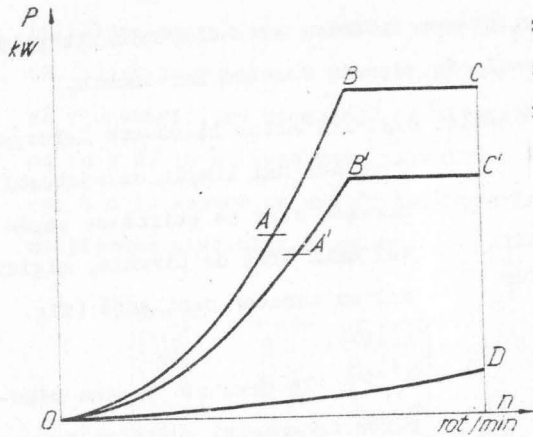


Fig. 11.18
Caracteristica frînei hidraulice.

ză valoarea maximă admisibilă, puterea de frînare fiind funcţie numai de turaţie. Punctul B marchează punctul de funcţionare corespunzător puterii maxime determinate de capacitatea de evacuare a căldurii odată cu apa. Linia orizontală pornită din punctul B care caracterizează funcţionarea frînei la puterea maximă se întinde numai pînă în punctul C corespunzător turaţiei maxime care nu poate fi depăşită din considerente de rezistenţa materialelor. Curba O - D reprezintă caracteristica frînei pentru umplerea minimă a acesteia cu apă.

Pentru umpleri parţiale ale frînei cu apă produse cu ajutorul variaţiei razei interioare a inelului de apă, R_a , se obţin caracteristici de formă O - A' - B' - C', intermediare între caracteristicile O - A - B - C şi O - D .

Unele construcţii moderne de frîne hidraulice folosesc soluţia rotirii carcasei în jurul rotorului interior imobilizat (fig. 11.19). La aceste frîne cuplul de frînare este transmis obişnuit la o balanţă cu pendul de înclinaţie. Avantajele frînelor cu rotor exterior sînt : stabilitate bună în funcţionare, constanţa sarcinii, reglajul rapid şi creşterea capacităţii normale de frînare chiar şi pentru domeniul vitezelor scăzute cu ajutorul frînării suplimentare dintre o porţiune netedă din suprafaţa rotorului exterior şi o bandă

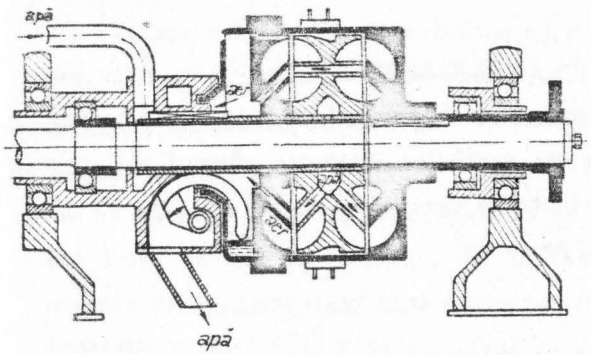


Fig. 11.19
Schema unei frîne hidraulice cu rotor exterior prevăzută şi cu bandă de fricţiune.

de fricţiune.

Cînd se comandă o frînă hidraulică la o firmă specializată pentru astfel de utilaje, trebuie să se specifice următoarele :

- tipul maşinii motoare care se va încerca;

- în cazul maşinilor cu piston : numărul de cilindri şi felul ciclului (în 2 sau 4 timpi) ;

- masa aproximativă a celui mai greu şi a celui mai uşor dintre motoarele care se vor încerca;

- sensul de rotaţie a motoarelor cu menţiunea eventuală a încercării unor motoare reversibile ;

- capacitatea de frînare care se solicită, dată eventual sub forma unei curbe de variaţie a puterii în funcţie de turaţie sau măcar indicarea valorilor limită : puterea maximă şi turaţia corespunzătoare, cuplul maxim şi turaţia corespunzătoare, viteza maximă şi puterea minimă corespunzătoare şi viteza minimă şi puterea maximă corespunzătoare;

- dacă frîna se va utiliza pentru determinarea cu precizie a curbelor caracteristice ale puterii sau aceasta va servi numai pentru rodajul şi frînarea motoarelor ;

- dacă puterea se va măsura în CP sau kW.

Domeniul de puteri pentru care se construiesc frînele

hidraulice este cuprins între cîteva zeci şi cîteva mii de kilowaţi.

11.3.1.4. Frîne electrice

Aceste frîne se clasifică în următoarele două grupe :

- frîne dinamoelectrice la care frîna propriu-zisă este o maşină electrică care poate funcţiona atît ca motor cît şi ca generator de curent;

- frîne cu curenţi turbionari (Foucault).

11.3.1.4.1. Frîne dinamoelectrice

Aceste frîne se pot construi atît pentru curent continuu, cît şi pentru cel alternativ. Prin cuplarea unui generator, puterea mecanică a unui motor este transformată în energie electrică şi poate fi determinată direct din valorile tensiunii şi curentului, dacă se cunoaşte randamentul generatorului. Această metodă reprezintă o posibilitate foarte comodă de măsurare şi este deosebit de avantajoasă atunci cînd motorul ce trebuie verificat este prevăzut cu un generator.

Puterea furnizată de către axul maşinii termice este în acest caz :

$$P = P_{el} + P_g \qquad (11.18)$$

$$P = \frac{P_{el}}{\eta_g} \qquad (11.19)$$

unde: P_{el} este puterea electrică produsă de generator;

P_g - pierderile generatorului;

η - randamentul generatorului.

In curent continuu puterea electrică se determină prin măsurarea curentului şi tensiunii, iar în curent alternativ se foloseşte cu succes metoda celor două wattmetre.

Maşinile de curent continuu cu excitaţie proprie şi maşinile de curent alternativ utilizate în calitate de frîne posedă un domeniu limitat de turaţii putînd lucra practic, numai la turaţia nominală.

Pentru a se obţine un domeniu de funcţionare în limite mai largi de turaţii, majoritatea frînelor electrice sînt construite în prezent pe baza maşinilor electrice cu curent continuu cu excitaţie mixtă.

Pentru o frînă cu curent continuu cu excitaţie mixtă la o anumită valoare a curentului de excitaţie, tensiunea U la bornele rotorului este proporţională cu turaţia n :

$$U = a \cdot n \qquad [V] \qquad (11.20)$$

unde a este un coeficient care ţine seama de curentul de excitaţie.

Dacă se notează cu R valoarea rezistenţei reostatului de sarcină din circuitul rotoric, intensitatea curentului din acest circuit este

$$I = \frac{U}{R} = \frac{a \cdot n}{R} \qquad [A] \qquad (11.21)$$

iar puterea frînată

$$P = \frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_g} \qquad [kW] \qquad (11.22)$$

Dacă se înlocuiesc în această ultimă relaţie valorile lui U şi I date de relaţiile (11.20) şi (11.21) şi dacă se neglijează variaţia randamentului frînei, η_g, cu sarcina, se obţine caracteristica acestui tip de frînă electrică sub forma unei curbe de ordinul doi : $P = \frac{K}{R} n^2$ al cărei

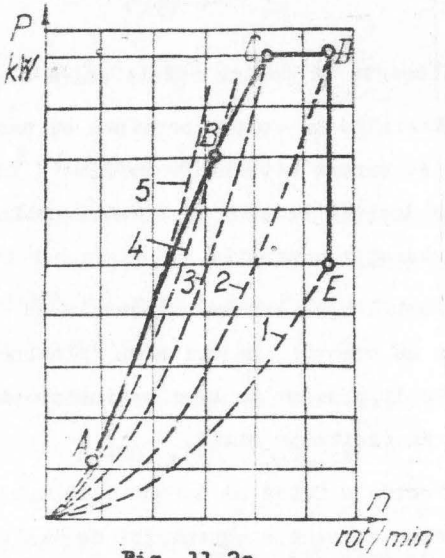


Fig. 11.2o
Caracteristica frînei electrice

parametru variabil depinde de curentul de excitaţie şi de valoarea rezistenţei de sarcină.

In fig. 11.2o este trasată familia de curbe (1,2,3,4,5) obţinută prin reglarea în trepte a rezistenţei R . Intre aceste curbe se poate efectua o reglare fină, modificînd curentul de excitaţie. Linia O A B C D E limitează domeniul de funcţionare al acestui tip de frînă electrică.

In cazul în care o astfel de frînă este utilizată în calitate de motor de antrenare se poate determina randamentul mecanic al maşinii termice dacă se cunoaşte puterea de antrenare:

$$P_a = P_{el} - W_p$$

unde : P_{el} este puterea absorbită de la reţea ;

W_p - pierderile în frînă (se determină experimental).

Pentru a nu fi dependentă de randamentul generatorului şi a nu necesita determinarea pierderilor proprii ale acestuia,

frînarea se poate realiza cu ajutorul generatoarelor pendulare.

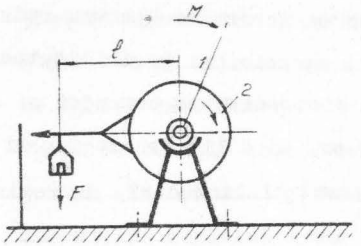


Fig. 11.21
Schema generatorului pendular.
1. ax; 2. carcasă.

La acest tip de frînă dinamoelectrică rotorul se roteşte în lagărele cu alunecare sau cu rostogolire fixate în capacele carcasei, iar carcasa poate oscila pe rulmenţii de reazem fixaţi în nişte montanţi solidarizaţi cu placa de bază (fig.11.21). In timpul funcţionării se echilibrează momentul produs de forţele electromagnetice care iau naştere în carcasă şi care are tendinţa să rotească carcasa în acelaşi sens cu momentul produs de masele atîrnate de braţul de pîrghie de lungime l, solidarizat cu carcasa.

Acest moment se determină cu relaţia :

$$M = F \cdot l \qquad (11.23)$$

Măsurarea momentului cu frînele pendulare atrage şi erori datorită frecărilor în lagăre.

Pentru determinarea momentului de frecare se pun cu atenţie greutăţi pe talerul frînei pînă în momentul în care corpul frînei este scos din poziţia de echilibru.

Mărimea erorii posibile datorită existenţei frecării în lagărele corpului frînei, la măsurarea cuplului, va fi cu atît mai mare cu cît frîna este încărcată la sarcini mai mici.

In cazul încercării motoarelor de puteri mai mari, sau în cazul în care fluxul de motoare încercate la standurile de probă este uniform, frînele trebuie astfel alese încît să se poată recupera cel puţin o parte din energia dezvoltată în timpul încercărilor [4].

In afara avantajelor frînelor dinamoelectrice la utilizarea acestora în calitate de motor de antrenare (pentru rodaj sau pentru determinarea randamentului mecanic) şi posibilitatea recuperării energiei, se mai pot aminti : comoditatea comandei şi al automatizării funcţionării frînelor, stabilitatea regimului de lucru la frînare şi o trecere uşoară şi lină de la un regim la altul.

In figura 11.22 este schematizată o instalaţie automatizată care are în componenţă o astfel de frînă dinamoelectrică. La această instalaţie, înregistrările pe bandă ale momentului

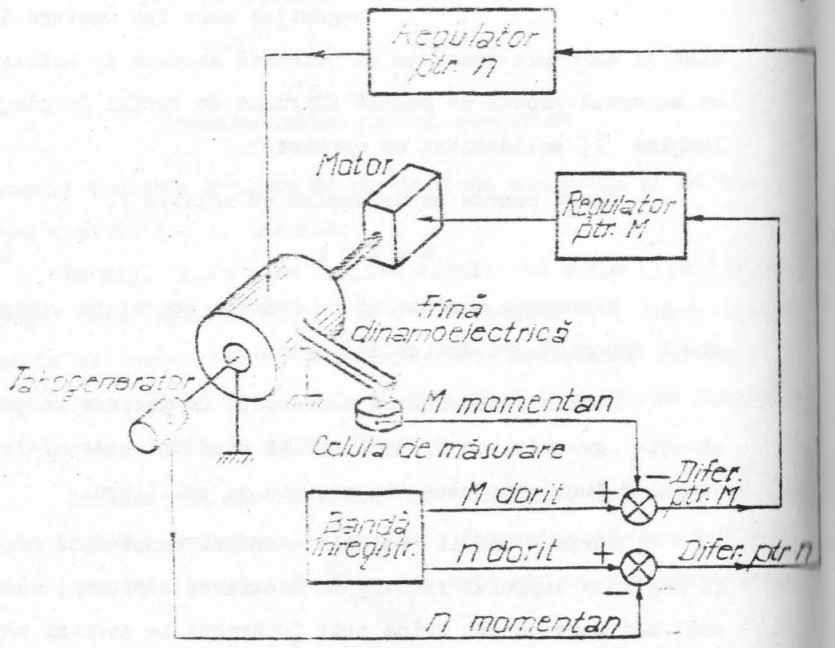


Fig. 11.22
Schema unei instalaţii automatizate de frînare echipată cu o frînă dinamoelectrică.

cuplului motor şi ale vitezei măsurate în condiţii reale de funcţionare pentru un automobil, sînt folosite pentru a reproduce aceste condiţii la încercarea motorului în laborator. Două

sisteme cu legătură inversă sînt folosite pentru controlul turaţiei şi momentului dezvoltat de motor. Un semnal generat de tahogenerator e comparat cu semnalul dorit pentru turaţie, înregistrat pe bandă; dacă între cele două semnale există diferenţe, regulatorul de turaţie este sesizat şi în mod automat se realizează acordul. In mod analog, semnalul generat de celula de măsurare a momentului cuplului motor se compară cu valoarea dorită a momentului obţinută sub forma unui semnal de la banda pe care acesta a fost înregistrat ; dacă există diferenţe şi între aceste două semnale, regulatorul automat al motorului este sesizat, acesta acţionînd în direcţia potrivită. Ambele sisteme operează simultan şi continuu, pentru a forţa turaţia şi momentul cuplului motorului să urmeze comenzile imprimate pe bandă.

11.3.1.4.2. <u>Frîne cu curenţi turbionari</u> (Foucault)

Dacă un inel metalic nemagnetic (din cupru, alamă sau aluminiu) se roteşte într-un cîmp magnetic, se induc în inel curenţi turbionari care se transformă în căldură şi produc un efect de frînare. Dacă inelul este confecţionat dintr-un material magnetic (fier sau oţel), apar în afară de curenţii turbionari şi pierderi prin histerezis.

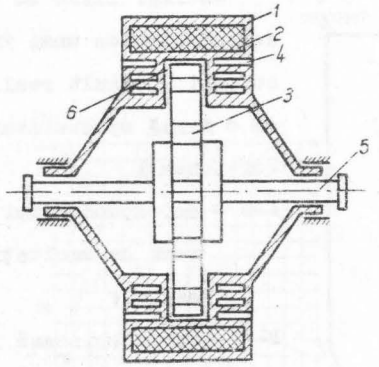


Fig. 11.23
Schema unei frîne Foucault. 1- carcasă oscilantă; 2- bobină de excitaţie; 3- rotor danturat; 4- camere de răcire cu apă; 5- ax; 6- întrefier.

La frîna cu curenţi Foucault schematizată în fig. 11.23 liniile de forţă ale cîmpului magnetic

care ia naştere atunci cînd curentul de excitaţie străbate bobinajul, se închid în jurul bobinajului perpendicular pe direcţia curentului.

Rotirea rotorului danturat în interiorul acestui cîmp, creează curenţi Foucault la nivelul porţiunilor statorice active care mărginesc camerele de apă. Aceşti curenţi produc un cîmp magnetic, care se opune cîmpului magnetic de excitaţie, exercitînd astfel un cuplu de frînare. Acest cuplu de frînare este funcţie de tensiunea curentului de excitaţie şi de turaţia rotorului frînei.

Precizia de măsurare la aceste frîne depinde de frecările în lagăre, respectiv, de sensibilitatea frînei precum şi de sistemul de măsurare a forţei de frînare.

Instalaţiile echipate cu astfel de frîne se pot automatiza complet asigurîndu-se funcţionarea după program.

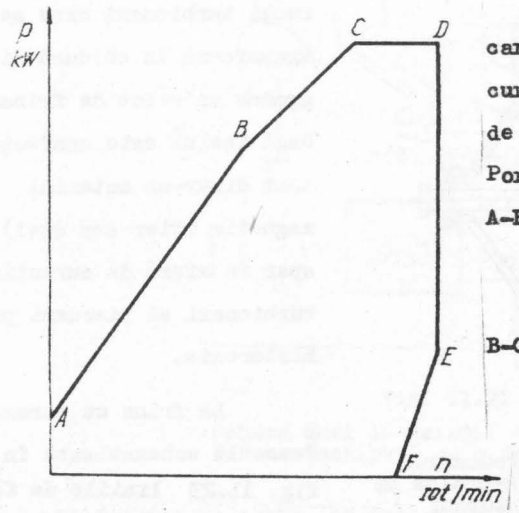


Fig. 11.24
Caracteristica frînei cu curenţi Foucault.

In fig. 11.24 se arată caracteristica unei frîne cu curenţi Foucault realizată de o firmă specializată.

Porţiunea :

A-B - corespunde unui curent de excitaţie maxim ;

B-C - caracterizează limita superioară a capacităţii dispozitivului de măsurare a momentului, care echipează frîna ;

C-D - corespunde puterii maxime limitate de considerente de ordin termic ;

D-E - indică limita turaţiei dictată de considerente de ordin mecanic ;

F-E - corespunde mersului în gol.

Figura 11.25 ilustrează diferite posibilităţi de reglaje ale unei frîne de acest tip cu funcţionare automatizată.

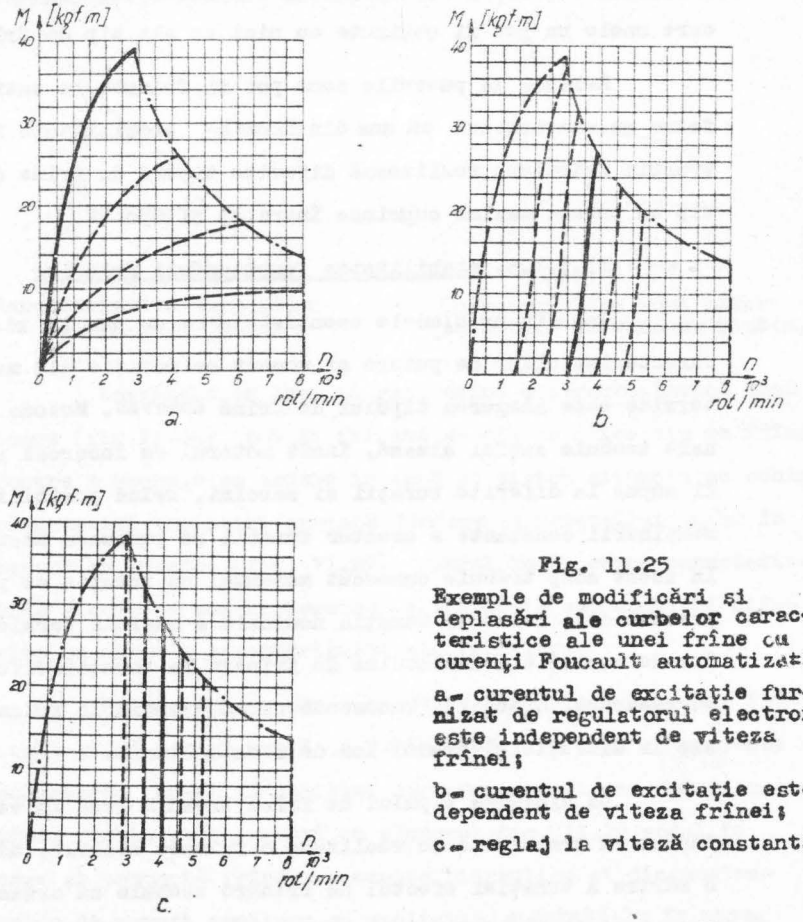


Fig. 11.25
Exemple de modificări şi deplasări ale curbelor caracteristice ale unei frîne cu curenţi Foucault automatizată

a - curentul de excitaţie furnizat de regulatorul electron este independent de viteza frînei;

b - curentul de excitaţie este dependent de viteza frînei;

c - reglaj la viteză constantă

Consumul de apă de răcire este de cca 17 l pentru un kilowatt oră în cazul în care temperatura de intrare a apei în frînă este de 2o°C şi temperatura de ieşire de cca 5o÷6o°C.

In concluzie se menţionează că, acest tip de frînă este relativ simplu din punct de vedere constructiv, asigură o precizie ridicată, poate fi construit pentru turaţii ridicate, permite un înalt grad de automatizare şi oferă multe posibilităţi de funcţionare în interiorul domeniului de frînare, dintre care unele nu pot fi obţinute cu nici un alt tip de frînă.

Relativ la puterile care pot fi frînate cu astfel de frîne se menţionează că una din firmele specializate în construcţia frînelor, realizează diferite tipuri de frîne de acest tip cu puteri maxime cuprinse între 45 şi 65o kW.

11.3.1.5. Stabilitatea funcţionării frînelor

Una din problemele esenţiale care se pun la ridicarea caracteristicilor de putere şi moment de rotaţie ale maşinilor termice este alegerea tipului de frînă adecvat. Metoda de frînare trebuie astfel aleasă, încît motorul de încercat să poată fi supus la diferite turaţii şi sarcini, avînd posibilitatea menţinerii constante a acestor turaţii pe perioada măsurării. In acest scop trebuie cunoscut momentul de rotaţie ce poate fi preluat de o frînă la turaţia nominală a maşinii termice şi modul de variaţie a momentului de frînare la turaţii diferite. De asemenea, trebuie cunoscute caracteristicile frînelor luate în discuţie şi gradul lor de sensibilitate.

La alegerea tipului de frînă trebuie avut în vedere faptul că trebuie să se realizeze o frînare stabilă, adică la o mărire a turaţiei efectul de frînare trebuie să crească. Caracteristicile frînei şi motorului trebuie să fie diferite

şi în limita posibilităţilor să se întretaie sub un unghi cît mai apropiat de 9o° pentru ca punctele de funcţionare să fie stabile.

Punctul de intersecţie a caracteristicilor corespunde stării de echilibru a frînării. Pentru o funcţionare stabilă a frînei este necesar ca atunci cînd puterea maşinii termice are tendinţa de a creşte întîmplător, frîna să-şi mărească automat puterea de frînare şi invers dacă maşina termică înregistrează o scădere întîmplătoare a puterii dezvoltate.

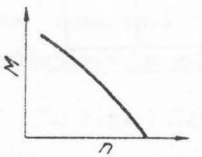


Fig. 11.26
Caracteristica turbinelor cu abur şi gaze.

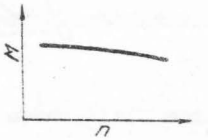


Fig. 11.27
Caracteristica unui motor cu ardere internă cu piston.

Turbinele cu abur şi gaz avînd o caracteristică căzătoare (fig.11.26), pot fi frînate stabil cu orice tip de frînă. Pentru motoarele cu ardere internă cu piston situaţia se schimbă datorită variaţiei aproape liniare a momentului motor în raport cu turaţia (fig. 11.27), astfel încît curba caracteristică a acestor maşini termice se întretaie sub unghiuri diferite cu curbele caracteristice ale frînelor.

Deoarece, aşa cum s-a arătat, frînele cu curenţi Foucault avînd o gamă largă de posibilităţi în ceea ce priveşte schimbarea formei şi poziţiei caracteristicii vor putea funcţiona stabil, se va urmări cu ajutorul fig. 11.28 modul în care se comportă frînele mecanice hidraulice şi dinamoelectrice de curent continuu cu excitaţie separată, la frînarea

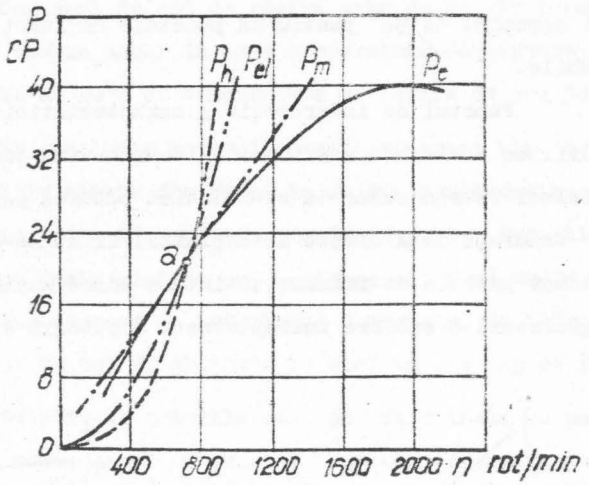


Fig. 11.28
Influenţa formei caracteristicii asupra stabilităţii frînei

P_e - caracterfstica M.A.I;

P_m - caracteristica frînei mecanice ;

P_{el} - caracteristica frînei dinamoelectrice cu excitaţie separată ;

P_h - caracteristica frînei hidraulice.

unui motor cu ardere internă.

Relativ la frîna mecanică, se constată că la micşorarea puterii motorului de antrenare în raport cu punctul normal de funcţionare, va exista tendinţa de oprire a motorului termic.

Caracteristicile frînelor dinamoelectrice de curent continuu cu excitaţie separată şi a frînelor hidraulice asigură o funcţionare mai stabilă a instalaţiei de frînare. Panta caracteristicii frînei hidraulice fiind însă mai înclinată, va exista la această frînă o tendinţă mai mare de a menţine turaţia constantă pentru motorul care se încearcă.

Se menţionează că frînele hidraulice prezintă o funcţionare mai nestabilă la sarcini reduse datorită dificultăţii de a menţine un curent constant de apă în frînă.

11.3.2. Procedee de măsurare a momentelor de rotaţie, fără pierderi de putere

11.3.2.1. Măsurarea forţei de reacţie

Acest procedeu se poate utiliza în unele cazuri în care trebuie să se determine experimental puterea consumată de un motor cu ardere internă la funcţionarea acestuia la rece sau puterea consumată de un compresor în cazul antrenării acestor maşini termice cu motoare electrice.

In fig. 11.29 este reprezentat schematizat modul de transmitere, în vederea măsurării, a forţei de reacţie, în cazul fixării motorului electric de antrenare pe o platformă oscilantă. Forţa F_c care trebuie luată în calcul la determinarea momentului de rotaţie este :

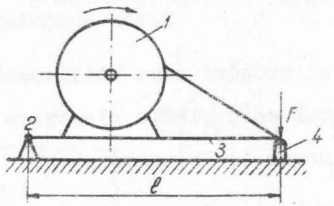


Fig. 11.29
Schema de fixare a motorului electric de antrenare pe o platformă oscilantă pentru transmiterea forţei de reacţie;
1 - motor electric; 2 - ax articulat; 3 - platformă oscilantă; 4 - element pentru măsurarea forţei.

$$F_c = F - F_r \qquad (11.24)$$

unde F este forţa totală transmisă la elementul de măsurare în timpul funcţionării.

F_r - forţa de apăsare asupra elementului de măsurare a forţei, datprită masei motorului electric şi platformei oscilante cînd motorul stă în repaus.

Valoarea momentului de rotaţie este :

$$M = F_c \cdot l \qquad (11.25)$$

unde: F_c are semnificaţia cunoscută, iar distanţa l este indicată în fig. 11.29.

La utilizarea acestei scheme trebuie evitate sau eventual reduse deplasările în plan vertical a platformei oscilante.

Dacă se dispune de un motor pendular (fig.11.3o) atunci avînd în vedere ca şi în cazul precedent, că momentul de rotaţie M produs la ax de către motor este egal dar cu sens diferit cu momentul de reacţie la carcasă, se poate scrie relaţia :

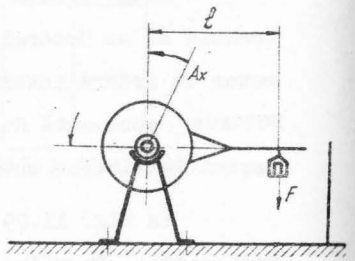


Fig. 11.3o
Motor pendular

$$M = F \cdot l \qquad (11.26)$$

unde F şi l au semnificaţiile indicate pe figura 11.3o.

Un avantaj important al metodei care utilizează motoare pendulare constă în faptul că maşinile electrice pendulare pot lucra la alegere ca motor sau ca generator.

11.3.2.2. Metode speciale de măsurare

Se deosebesc metode de măsurare a momentelor de rotaţie bazate pe măsurarea forţelor şi altele bazate pe măsurarea unghiului de rotaţie relativă.

Aşa cum este cunoscut, un arbore prin intermediul căruia se transmite un moment de rotaţie, este supus la o răsucire (torsiune). Astfel, dacă se consideră două secţiuni ale arborelui situate la distanţe l, acestea sînt răsucite formînd unghiul ψ . Pentru domeniul deformaţiilor elastice,

există proporţionalitate liniară între momentul de rotaţie M şi unghiul ψ . Relaţia de legătură între aceste două mărimi este :

$$M = \frac{G \cdot J_p \cdot \psi}{l} \qquad (11.27)$$

unde M, ψ şi l au semnificaţiile cunoscute, iar

G - modulul de elasticitate transversală al materialului arborelui ;

J_p - momentul de inerţie polar al suprafeţei secţiunii.

In afara dispozitivului[1] de cuplare bazat pe măsurarea forţelor, în continuare se vor trata succint metodele de măsurarea torsiunii cu dinamometrul de torsiune, cu mărci tensometrice, cu convertoare inductive şi cu două generatoare.

11.3.2.2.1. Dispozitiv de cuplare cu arc

Acest dipozitiv (fig. 11.31) se montează în locul cupla-

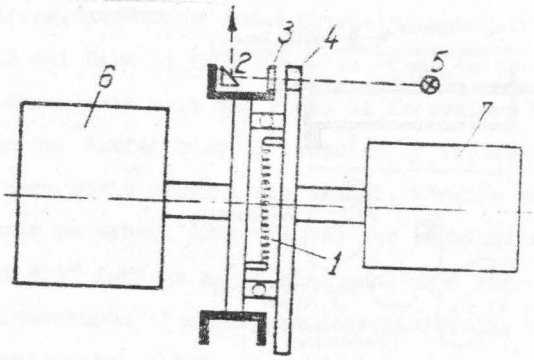


Fig. 11.31
Dispozitiv de cuplare cu arc.
1- arc elicoidal ;
2- oglindă ;
3- indicator ;
4- scară transparentă ;
5- sursă de lumină;
6- motor ;
7- angrenaj ;

1) Unii autori folosesc termenul de dinamometru pentru unele sisteme de măsurare a momentului de rotaţie sau puterii, deşi acest termen este încetăţenit pentru dispozitivele de măsurare a forţelor.

jului rigid dintre axul conducător şi cel condus. Deplasarea elementului elastic e folosită ca măsură pentru momentul de rotaţie transmis.

Cu cît momentul de rotaţie este mai mare, cu atît mai mult se deplasează discurile unul faţă de celălalt. In acest caz, unghiul de rotaţie relativă este proporţional cu momentul de rotaţie transmis.

11.3.2.2.2. Dispozitiv de măsurare cu bară de torsiune

La acest dispozitiv (fig.11.32) deplasarea unghiulară relativă a două secţiuni ale barei de torsiune situate la distanţa l se poate citi cu ajutorul a două scale transparente, pe baza efectului stroboscopic.

Cu ajutorul relaţiei (11.27) se va putea determina valoarea momentului de rotaţie M .

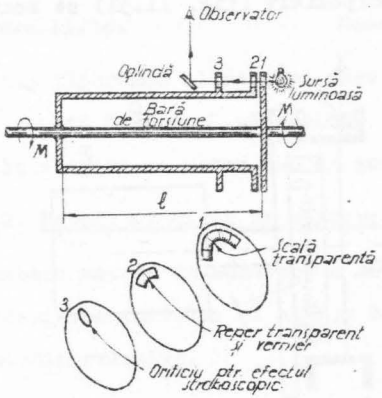


Fig. 11.32
Dispozitiv cu bară de torsiune pentru măsurarea momentului de rotaţie.

Acest dispozitiv de măsurare poate fi utilizat numai cînd cele două elemente ce urmează a fi cuplate pot fi depărtate unul de celălalt într-atît, încît acesta să poată fi intercalat ca element de legătură între cele două axe.

11.3.2.2.3. Măsurarea momentului de rotaţie cu mărci tensometrice

Această metodă de măsurare a izvorît şi s-a dezvoltat din dorinţa obţinerii de semnale electrice de ieşire şi pentru posibilitatea măsurării momentelor de rotaţie care variază rapid. In principiu, această metodă constă în determinarea alungirii ε a suprafeţei arborelui care depinde de torsiune după o anumită lege, cu ajutorul unor mărci tensometrice care se aplică pe arbore. Uneori mărcile tensometrice sînt lipite pe o porţiune de ax cu secţiunea transversală pătrată (fig.11.32 b) datorită unor avantaje aduse de această soluţie. Astfel, mărcile tensometrice se localizează şi se fixează mai bine pe suprafeţe plane, legăturile între firele de conexiune şi mărci se localizează mai bine şi în plus, la un efort de torsiune echivalent, un ax pătrat este mult mai rigid la încovoiere decît unul rotund reducînd astfel efectul forţelor de încovoiere, mărind totodată frecvenţele proprii ale axului. Mărcile tensometrice sînt aplicate pe arbore (fig. 11.33) sub unghiurile de 45°, 135°, 225° şi 315° faţă de ax şi sînt conectate într-o punte Wheatstone. Alimentarea şi măsurarea dezechilibrului creat de modificările rezistenţei celor patru mărci în urma alungirii, se face prin cele patru inele colectoare.

Relaţia între M şi ε se va explica cu ajutorul fig. 11.33.d.

Lungimea efectivă a mărcii tensometrice este s , iar

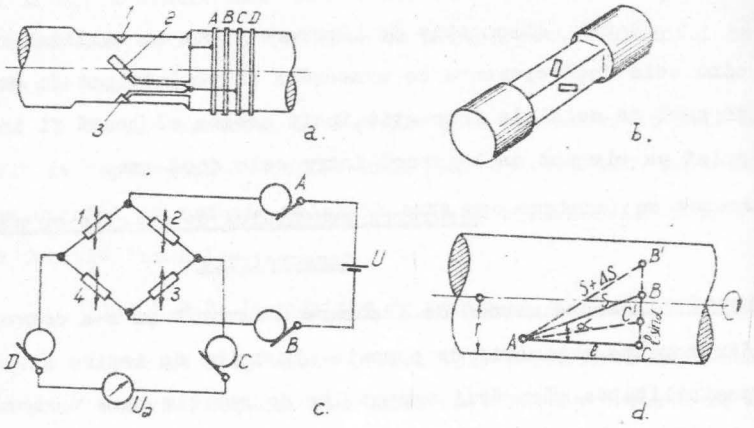


Fig. 11.33
Măsurarea momentului de rotaţie cu mărci tensometrice. Dispunere, schema de calcul şi schema de măsurare.
1,2,3 şi 4 - mărci tensometrice; A,B,C şi D - inele colectoare.

unghiul sub care acesta s-a aplicat faţă de axul arborelui de raza r , este α . Lungimea de măsurare este l şi unghiul de torsiune ψ .

Dacă ne imaginăm că un capăt al mărcii tensometrice este fixat în punctul A atunci celălalt capăt al mărcii se va deplasa din B în B' pe porţiunea $r \cdot \psi$, alungindu-se cu mărimea Δs , în cazul în care rotirea arborelui are loc în sensul săgeţii.

După teorema cosinusului :

$$(s + \Delta s)^2 = s^2 + r^2 \cdot \psi^2 - 2 r \cdot \psi \cos (90^\circ + \alpha).$$

Făcînd substituţia $\sin \alpha = - \cos (90^\circ + \alpha)$ şi neglijînd pătratele mărimilor mici se obţine

$$\varepsilon = \frac{\Delta s}{s} = \frac{r \cdot \psi \cdot \sin \alpha}{s} \qquad (11.28)$$

Cu ajutorul relaţiilor (11.27) şi (11.28) se obţine

$$\varepsilon = \frac{M \cdot r \cdot l \cdot \sin \alpha}{G \cdot J_p \cdot s} \qquad (11.29)$$

sau ţinînd seama că $l = s \cdot \cos \alpha$ se obţine în final relaţia

$$\varepsilon = \frac{M}{2 \cdot G \cdot W_p} \sin 2\alpha \qquad (11.30)$$

unde: W_p este modulul de rezistenţă polar ($W_p = \frac{J_p}{r}$)

Valorile maxime a lui $\sin 2\alpha$ sînt : + 1 la 45° şi 225° şi -1 la 135° şi 315°. Avînd în vedere acest lucru rezultă că mărcile tensometrice 1 şi 3 se lungesc iar 2 şi 4 se scurtează.

Dacă se folosesc patru mărci tensometrice cu rezistenţele R egale şi cu variaţii r egale ale rezistenţei relative şi dacă se ţine seama că rezistenţa acestor mărci tensometrice depinde de alungirea ε , atunci între tensiunea de ieşire a punţii, U_a şi tensiunea de alimentare a punţii, U există relaţia :

$$U_a = U \cdot K_1 \cdot \varepsilon \qquad (11.31)$$

Cu ajutorul relaţiilor (11.30) şi (11.31) se obţine valoarea căutată

$$M = K_2 \cdot U_a \qquad (11.32)$$

Se observă din această relaţie că,dacă tensiunea U de alimentare se menţine constantă,există proporţionalitate între momentul de rotaţie căutat şi tensiunea de ieşire a punţii.

Schema funcţională a instalaţiei de măsurat este rezumată în fig. 11.34. In afara mărimilor a căror semnificaţie este cunoscută,în această figură s-a mai notat cu I_m, curentul

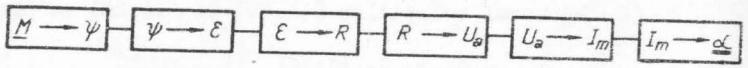


Fig. 11.34
Schema funcţională a instalaţiei de măsurat din fig.11.33

sistemului de măsurat şi cu α deviaţia dispozitivului de măsurat.

In cazul măsurării variaţiei rezistenţei cu o punte dublă cu autocompensaţie, tensiunea U de alimentare nu mai trebuie menţinută constant.

Una din firmele specializate în construcţia unor astfel de dispozitive de măsurare execută torsiometre cu mărci tensometrice pentru măsurarea momentelor de rotaţie cu domenii de măsurare de la 1 la 2oo daN.m pentru turaţii pînă la 6ooo rot/min şi cu domenii de măsurare pînă la loo N.m pentru turaţii pînă la 4ooo rot/min limitele corespunzătoare de erori datorită etalonării, liniarităţii şi temperaturii fiind de o,2 respectiv o,5%.

Pentru obţinerea directă a puterii se obişnuieşte uneori să se alimenteze puntea cu tensiunea furnizată de un tahogenerator antrenat de arbore. Deoarece tensiunea de alimentare va fi în acest caz proporţională cu turaţia ($U = K_3 n$) rezultă :

$$U_a = K_4 \cdot P \qquad (11.33)$$

unde P este puterea.

Prin faptul că aplicarea inelelor pentru contactele electrice întîmpină uneori dificultăţi, unii cercetători au rezolvat aceasta fie cu ajutorul unui emiţător de unde ultrascurte cu modulaţie de frecvenţă care se roteşte o dată cu arborele şi a unui receptor fix, fie cu ajutorul unui procedeu cifric [3].

11.3.2.2.4. Măsurarea inductivă a momentului de rotaţie

Traductorul inductiv pentru măsurarea momentului de rotaţie arătat în fig. 11.35 prezintă avantajul unei sensibilităţi mai mari în raport cu traductorul cu mărci tensometrice. In plus, la acest traductor folosindu-se curentul alternativ, inelele pentru contactele glisante se înlocuiesc cu transformatoare inductive de rotaţie. La aceste transformatoare valoarea şi frecvenţa tensiunilor secundare nu sînt influenţate de turaţie.

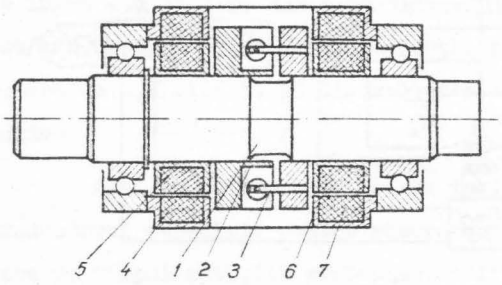


Fig. 11.35
Traductor inductiv pentru măsurarea momentului de rotaţie.

1- arbore supus la torsiune; 2,3- traductoare inductive a mărimii măsurate; 4,5- bobinajele transformatcarelor de intrare; 6,7- bobinajele transformatoarelor de ieşire.

Din schema de principiu a instalaţiei de măsurare (fig. 11.35) se observă că oscilatorul 9 transmite tensiunea alternativă de frecvenţă acustică (8 K Hz) prin bobinajele 4 şi 5 ale transformatorului de intrare la traductorul inductiv fixat pe arbore. Armătura şi bobinele traductorului sînt fixate de flanşe aşezate la extremităţile porţiunii de arbore a cărei torsiune se măsoară astfel încît întrefierul variază în funcţie de unghiul de torsiune ψ. Traductorul este format din

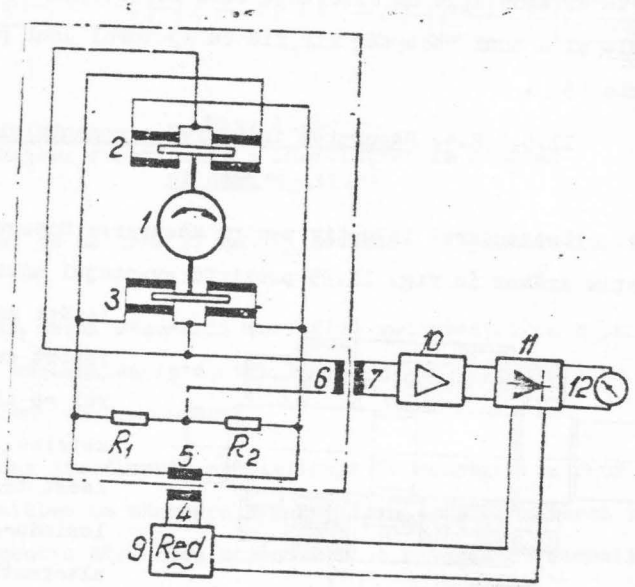


Fig. 11.36

Schema de principiu a instalaţiei de măsurare a momentului de rotaţie cu traductorul prezentat în fig. 11.35

1-7 (v.fig.11.35); 9 - generator de 8 K Hz ;
10 - amplificator de tensiune alternativă ;
11 - redresor sensibil la fază; 12 - dispozitiv de măsurat cu bobină mobilă.

două sisteme decalate la 180° pentru compensarea eventualelor cupluri de încovoiere. Aceste sisteme formează împreună cu rezistenţele R_1 şi R_2 o punte a cărei tensiuni de ieşire este proporţională cu unghiul de torsiune ψ . Această tensiune se transmite către bornele fixate pe carcasa fixă prin bobinajele 6 şi 7 ale transformatorului de ieşire.

Una din firmele specializate [3] execută astfel de traductoare pentru momente de rotaţie cu valori nominale cuprinse între o,1 şi 1ooo daN.m în intervalul de turaţii 5ooo-1o.ooo rot/min, tensiunea de ieşire a punţii putîndu-se măsura cu o eroare de o,5 pînă la 1% din valoarea corespunzătoare sarcinii maxime.

Deşi nu se tratează mai pe larg, trebuie totuşi amintit traductorul capacitiv pentru măsurarea momentului de rotaţie,la care în timpul rotaţiei axului se modifică distanţa între plăcile unui condensator, putîndu-se astfel sesiza unghiurile de torsiune care iau naştere [2] .

11.3.2.2.5. Măsurarea puterii cu două generatoare

O metodă de măsurare, de asemenea fără inele de contact este schematizată în fig. 11.37. La această metodă bara de torsiune cu ajutorul căreia se transmite momentul, are cuplat la capete cîte un generator de tensiune alternativă. In bobinele fixe ale acestor generatoare iau naştere prin inducţie tensiunile U_1 şi U_2 cu amplitudini egale. Dacă numărul de perechi de poli ale generatoarelor este p, atunci unghiul electric între aceste două tensiuni reprezentate vectorial în fig.11.35 b este $p\psi$. Voltmetrul V din schema de montaj (fig.11.35 a) trebuie să aibă o rezistenţă ohmică mare pentru o măsurare mai precisă a diferenţei U_d între aceste două tensiuni.

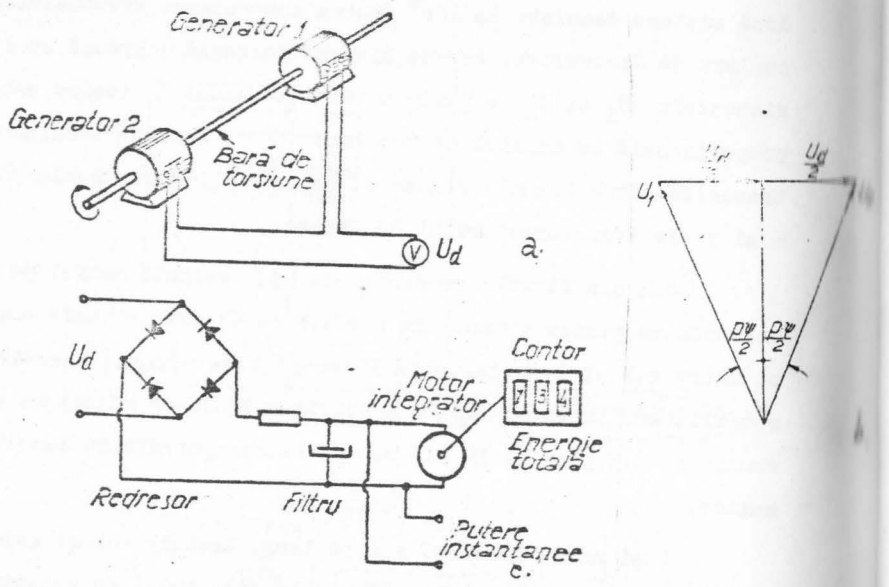


Fig. 11.37
Măsurarea puterii cu două generatoare

Pentru generatoare de construcție identică se poate scrie :

$$|U_1| = |U_2| = U$$

și deci conform figurei 11.35 b rezultă relația :

$$U_d = 2\ U\ \sin \frac{p \cdot \psi}{2} \qquad (11.34)$$

Avînd în vedere proporționalitatea care există între M și ψ se poate scrie :

$$M = \frac{2}{p.K_1}\ \text{arc.sin}\ \frac{U_d}{2\ U} \qquad (11.35)$$

Tensiunea U fiind proporțională cu turația n se poate scrie pentru putere :

$$P = K_2 . M . U \qquad (11.36)$$

sau prin înlocuire

$$P = \frac{2\ K_3 . U}{p}\ \text{arc sin}\ \frac{U_d}{U} \qquad (11.37)$$

Pentru valori mici ale unghiului $p \cdot \psi$, sinusul poate fi înlocuit cu argumentul său astfel încît se obțin relațiile simple :

$$M = K_4 . \frac{U_d}{U} \qquad (11.38)$$

și

$$P = K_5 . U_d \qquad (11.39)$$

Din ultima relație rezultă deci că puterea măsurată în acest mod este proporțională cu diferența de tensiune.

In fig. 11.35 c, se arată o schemă de măsurare a acestei diferențe de tensiune în mărimi continue la care se poate citi atît puterea instantanee cît și energia.

Pe baza metodei de măsurare cu două generatoare au fost concepute și alte scheme de măsurare [3] .

- BIBLIOGRAFIE -

1. Stratulat, M. şi Munteanu, S.D. — Incercarea motoarelor cu ardere internă. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1966.

2. Tölle, H . — Măsurări în instalaţiile termice. Ed.Tehnică, Bucureşti, 1972.

3. Grave, H. T. — Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1966.

4. Сорокс-Новицкий, В. М. — Испытания автотракторных двигателей, Машгиз Москва, 1960

5. Doebelin, E.O. — Measurement Systems: Applications and Design. Ed. Mc. Graw - Hill, New - York, 1966.

6. Gramberg, A. — Technische Messungen bei Maschinenuntersuchunghen und zur Betriebskontrolle. Springer-Verlag, Berlin, 1967.

Capitolul 12.

PRELEVAREA PROBELOR CU GAZ

12.1. Generalităţi

La instalaţiile de cazane cu apă supraîncălzită sau abur, la camerele de ardere de la turbinele cu gaze şi uneori la cercetarea proceselor din motoarele cu ardere cu piston se pune problema prelevării probelor de gaz în vederea analizării lor.

La instalaţiile de cazane cu apă supraîncălzită sau abur şi la camerele de ardere ale turbinelor cu gaze aceste analize servesc în special pentru controlul calităţii arderii; pentru focarele care folosesc combustibil solid pulverizat aceste analize servesc şi pentru determinarea conţinutului de cenuşe şi de particule de combustibil nears.

La motoarele cu ardere internă cu piston aceste analize servesc atît pentru aprecierea calităţii arderii cît şi pentru studierea altor procese.

Deoarece procesul arderii în instalaţiile de cazane şi în camerele de ardere ale turbinelor cu gaze se desfăşoară în mod continuu,iar în motoarele cu ardere internă cu piston acest proces se desfăşoară în mod intermitent datorită ciclului de funcţionare a motorului, problema captării probelor de gaz se va trata separat.

Dispozitivele utilizate pentru prelevarea probelor de gaz trebuie să satisfacă următoarele cerinţe generale, impuse

indiferent de instalaţia sau maşina termică unde acestea se adaptează :

1. Să asigure corespondenţa între proba de gaz luată şi conţinutul mediu al gazului din volumul de unde se face prelevarea.

2. Volumul gazului prelevat să fie suficient pentru efectuarea probei.

3. Să asigure o ermeticitate deplină faţă de intrarea aerului atît prin forma constructivă cît şi prin alegerea corectă a locului de fixare.

4. Să ofere o simplitate suficientă atît pentru execuţie cît şi pentru exploatare.

12.2. Prelevarea probelor de gaz de la instalaţiile de cazane şi de la camerele de ardere ale turbinelor cu gaze

In afara condiţiilor generale enunţate mai sus pentru dispozitivele de prelevare a probelor de gaz, în cazul prelevării probelor de gaz la aceste instalaţii se impun şi următoarele condiţii suplimentare :

1. Pe tronsonul de conductă (canal) ales pentru fixarea dispozitivului de prelevare nu trebuie să mai aibă loc nici un proces de ardere.

2. Pe acest tronson gazele trebuie să circule într-o masă compactă şi nu trebuie să existe locuri cu curgere inversă, vîrtejuri sau zone stagnante.

3. Dispozitivul sau priza de prelevare trebuie fixat cît mai departe de rezistenţele locale.

4. Cînd există posibilitatea, trebuie alese pentru

prelevare tronsoane verticale drepte ale conductelor de gaze.

Figura 12.1 reprezintă schema de montare într-o conductă verticală de gaze a unui dispozitiv de prelevare a gazelor. Pentru gazele de ardere care conţin bioxid de sulf, trebuie înlocuit vasul de condensaţie cu un filtru cu aşchii de fier degresate în vederea îndepărtării acestui component din gaz. Dopul lateral 7 serveşte pentru curăţirea ţevii de prelevare şi a filtrului cu aer comprimat.

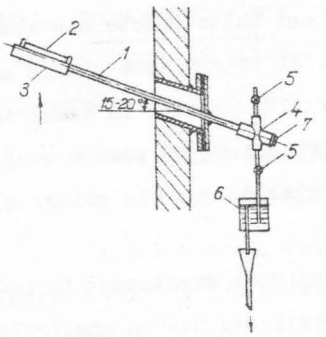


Fig. 12.1
Schema de montare a dispozitivului de prelevare a gazelor.
1- ţeavă de prevelare; 2- filtru ceramic ; 3- piesă protecţie; 4- ramificaţie tip cruce; 5- robineţi; 6- vas de condensaţie; 7- dop lateral.

Montarea filtrului ceramic se impune pentru un conţinut de impurităţi mecanice superioare lui 0,1 g/m^3. Aşezarea ţevii de prelevare sub un unghi de 15- 20^o faţă de orizontală se impune pentru asigurarea scurgerii în bune condiţiuni a condensului care se formează la răcirea gazului.

Se recomandă ca la locul de prelevare gazul să aibă o temperatură cuprinsă între 200 şi 500^{o}C iar conţinutul de impurităţi mecanice în gaz să nu depăşească 15 g/m^3. Limitarea temperaturii inferioare este condiţionată de apariţia condensului care poate conduce la înfundarea filtrului ceramic iar limita superioară este determinată atît de condiţiile de rezistenţă a dispozitivului de prelevare cît şi de pericolul reducerii CO_2 în CO şi O_2.

In cazul instalaţiilor mari la care şi traiectele de gaz au secţiuni mari de trecere, pentru a se obţine o probă medie de gaz se utilizează dispozitive de prelevare a gazelor care permit prelevarea probei în mai multe puncte din secţiunea conductei, canalului sau coşului. Se obişnuieşte pentru controlul sistematic continuu al compoziţiei gazelor în cazul instalaţiilor mari precum şi atunci cînd există un perete despărţitor în focar, să se monteze două prize de gaz (la stînga şi la dreapta).

Pentru analizele de gaze care se efectuează în mod periodic în vederea controlului arderii sau pentru analizele necesare cercetării, fie că se captează gazul în baloane speciale sau în mici vase din sticlă prevăzute cu robineţi, direct de la piesa 4 (fig. 12.1), fie că se racordează robinetul 7 cu analizorul prin intermediul unui ejector sau pompă de vid. In practică se folosesc uneori pentru prelevarea probelor de gaz camerele de cauciuc de la mingi.

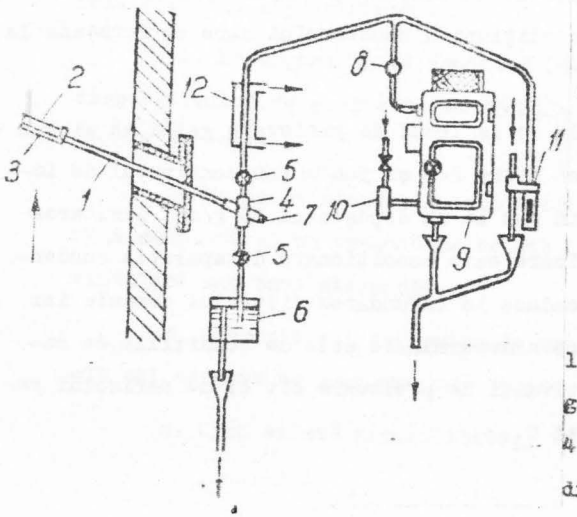


Fig.12.2
Schema de fixare în circuit a ejectorului.
1-7 - (v.fig.12.1); 8 - filtru de control, cu vată; 9 - analizor de gaze; 10 - filtrul apei sub presiune; 11 - ejector cu apă; 12 - răcitor.

In vederea analizării continue a gazelor, de la piesa 4 pleacă o ţeavă cu diametrul 8 x 10 mm

(din cupru sau alamă) pînă la analizor (fig.12.2). Pentru asigurarea refinnoirii continuă a gazului pe traiectul de aducere a gazelor, analizorul de gaz este prevăzut cu un ejector sau pompă de vid. In fig. 12.2 se arată modul în care se introduce în schemă, un ejector pentru cazul în care analiza gazului se face în mod continuu şi automat. Depresiunea creată de către ejector se controlează cu un manometru cu lichid.

12.3. Prelevarea probelor de gaz de la motoarele cu ardere internă cu piston

In afara condiţiilor generale formulate mai sus, pentru dispozitivele de prelevare ale gazelor de la motoarele cu ardere internă se mai impun unele cerinţe suplimentare şi anume :

1. Prin fixarea supapei de prelevare (la captarea probelor de gaz din interiorul cilindrului) să nu se modifice gradul de compresiune a motorului.

2. Să existe posibilitatea reglajului momentului şi duratei prelevării chiar şi în timpul funcţionării motorului.

Prelevarea probelor de gaz din conducta de evacuare a motorului nu comportă, în general, precauţii speciale.

Complexitatea supapei de prelevat probe de gaz şi a instalaţiei de comandă aferente este funcţie de mai mulţi factori şi anume : scopul analizelor de gaz, turaţia motorului, mărimea cilindreei, intensitatea vibraţiilor motorului etc. Astfel, dacă se urmăreşte cercetarea desfăşurării procesului de ardere, supapele de prelevat trebuie să aibă posibilitatea de a capta probe de gaz la diferite valori ale unghiului R.A.C. α, corespunzătoare procesului de ardere, durata deschiderilor trebuind să fie de asemenea foarte redusă (timpii corespunzători unghiurilor R.A.C de 2 ÷ 10°. Cu cît turaţia motorului este

mai mare, cu atît timpul total în care supapa trebuie să fie deschisă scade. De exemplu, pentru o supapă utilizată pentru studiul coeficientului de calitate a baleiajului la un motor în doi timpi la care durata prelevării trebuie să fie corespunzătoare unui unghi R.A.C. de cca 40°, timpul este de cca 1/450 s. Relativ la mărimea cilindreei motorului se menţionează că pentru valori mici ale acesteia, ciclul de funcţionare este perturbat în cazul în care se fac prelevări succesive la mai multe cicluri, aceasta cu atît mai mult cu cît cantitatea de gaz prelevată este mai mare. In cazul existenţei unor vibraţii de intensitate mai mare(motoare monocilindrice, motoare montate pe suspensii elastice, motoare la care echilibrajul este executat defectuos), este absolut necesar să se verifice corectitudinea funcţionării supapei pe motorul în mers, pentru diferitele turaţii la care urmează să se execute prelevările.

In scopul prelevării probelor de gaz de la motoarele cu ardere internă au fost realizate pînă în prezent diferite tipuri de supape, dintre care, majoritatea se pot utiliza pentru motoare cu turaţie relativ mică,

Supapele realizate comportă dispozitive sau instalaţii de comandă mecanice, hidraulice electrice sau mixte, în funcţie de tipul supapei.

Evident că instalaţiile de comandă electrice sînt superioare celorlalte sisteme de comandă, deoarece curentul electric permite realizarea unei unităţi depline între instalaţia de comandă şi mecanismul de captare a gazelor. La supapele cu acţionare mecanică sau hidraulică, veriga de legătură între instalaţia de comandă şi supapele respective este realizat fie cu ajutorul sistemelor de pîrghii, în general, la cele mecanice, fie

cu ajutorul conductelor la cele hidraulice. De aceea, supapele respective sînt complicate şi scumpe.

In fig. 12.3 este prezentată secţiunea printr-o supapă acţionată mecanic cu care se poate preleva o singură probă de gaz de volum mare [2] .

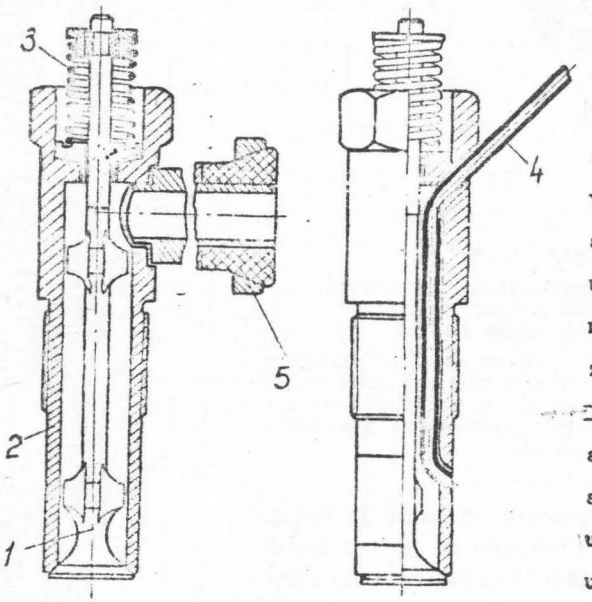


Fig. 12.3
Secţiune printr-o supapă acţionată mecanic pentru o singură prelevare.
1- tija supapei; 2- corpul supapei; 3- arc; 4- ţeavă pentru apa de răcire; 5-racord pentru prelevarea probei.

In figura 12.4 este prezentată schema instalaţiei pentru o supapă de prelevat probe de gaz acţionată hidraulic, la care comanda se realizează stroboscopic [2]. Sunghardt,K. a realizat o supapă acţionată hidraulic ce poate fi utilizată pentru motoare cu ardere internă cu piston cu turaţii pînă la 3000 rot/min; cu această supapă se obţin timpi de deschidere corespunzători unui unghi R.A.C. de 4° însă prelevările se fac la cicluri succesive [3] .

O supapă de prelevat probe de gaz de volum mare acţiona-.

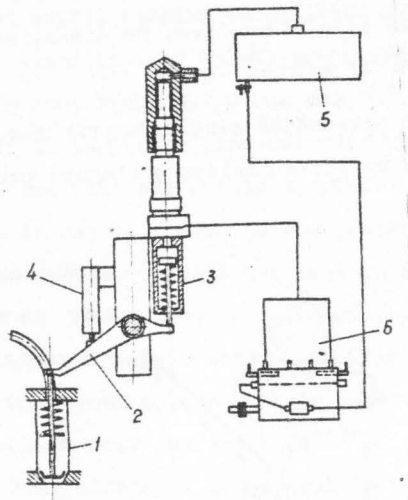


Fig. 12.4
Schema instalaţiei de comandă hidraulică a unei supape de prelevat probe de gaz.
1 - supapă de prelevare; 2 - culbutor; 3 - element de comandă acţionat hidraulic; 4 - element elastic pentru revenire şi amortizare; 5 - rezervor; 6 - pompă.

tă electromecanic ce poate fi utilizată pentru motoare cu ardere internă cu turaţii ce depăşesc 11oo rot/min, este prezentată în fig. 12.5 [2] . După efectuarea unei prelevări, supapa se repune în stare de funcţionare cu ajutorul unei pîrghii speciale introdusă printr-o fereastră din capac, cu care se ridică şaiba 14 în sus, comprimînd arcurile 11 şi 12. La executarea comenzii de deschidere a supapei,

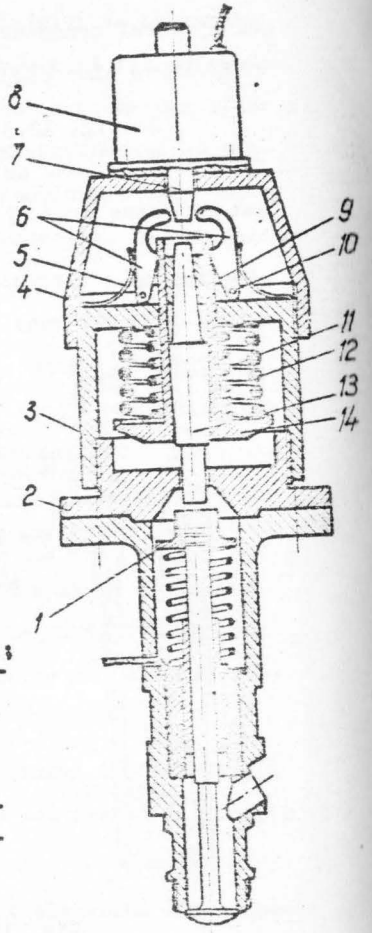


Fig. 12.5
Supapă de prelevat probe de gaz de volum mare acţionată electromecanic.
1,5,11,12 - arcuri; 2 - placă; 3 - corp; 4 - capac; 6 - ghearе; 7 - indus; 8 - electromagnet; 9 - bucşă; 10 - ax de rotaţie a gheарelor 6; 13 - dorn; 14 - şaibă care preia şocul.

trece curent prin electromagnetul care deplasează indusul 7 astfel încît, ghearele eliberează dornul care acţionează supapa. Dornul lovindu-se de placa 2 , sare în sus, gripîndu-se în bucşa 9. La turaţii care depăşesc 16oo rot/min această supapă prezintă unele inconveniente [3] .

O supapă comandată de o instalaţie electronică prevăzută cu **tiratron**, care permite prelevarea probelor de gaz de la motoarele rapide cu ardere internă la anumite intervale de turaţii fixate cu ajutorul unui numărător electronic şi în anumite puncte ale ciclului este descrisă în lucrarea [4] . Acţionarea supapei se face cînd numărătorul electronic comandă descărcarea unor condensatoare prin intermediul tiratronului, pe bobina supapei, aceasta fiind atunci străbătută de un curent de mare intensitate. Această supapă prezintă unele deficienţe legate de etanşare şi de utilizarea tiratroniler.

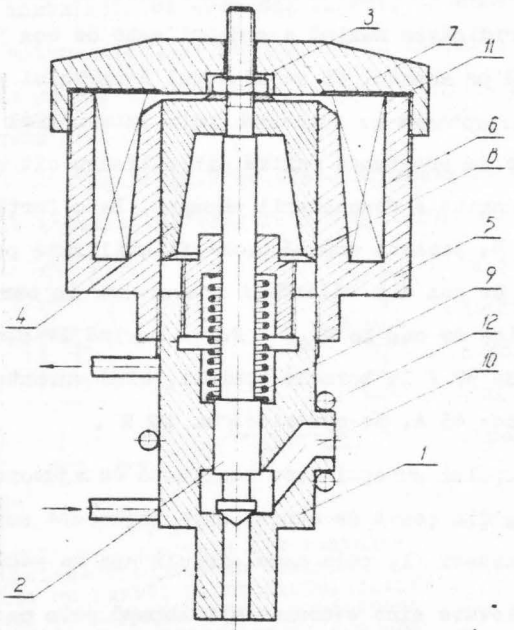


Fig. 12.6
Secţiune prin supapa realizată la I.P. Iaşi

Plecînd de la această supapă [4], la Institutul politehnic din Iaşi s-a realizat o supapă (fig. 12.6) şi o schemă de comandă electronică îmbunătăţită, la care tiratronul s-a înlocuit cu un tiristor [5] , [6] .

La această supapă atît scaunul cît și ghidajul constituie o singură piesă, 1 . Acest lucru permite o bună etanșare a supapei. De asemenea, la piesa 5, partea interioară dinspre pistonașul din fier fură remanență, 4, are peretele executat conic funcție de conicitatea interioară a pistonașului, pentru ca secțiunea miezului de fier, deci și inducția magnetică, să nu varieze mult în circuitul magnetic. Bobina 6 este formată din cca 163 spire din sîrmă de cupru cu diametrul de o,6 mm. Prin rotirea corespunzătoare a capacului 7, care limitează cursa pistonașului, se variază cursa supapei de la 0 la 0,5 mm. La valorile mai mari ale cursei se introduc inelele 11, pentru a se evita pe cît posibil mărirea reluctanței circuitului magnetic. Secțiunea de scurgere a gazului prin intervalul dintre supapă și scaun, la ridicarea maximă a supapei este de cca 5,5 mm^2. Supapa este apăsată pe scaunul ei cu ajutorul resortului elicoidal 9, a cărui forță de apăsare se reglează prin intermediul piesei 8, atît funcție de presiunea maximă din cilindru cît și funcție de durata dorită a deschiderii supapei. La o forță de apăsare de cca 2lo N, această supapă poate fi utilizată pentru prelevări de probe de gaz din cilindrii motoarelor în care se ating presiuni maxime de cca $lo^6 N/_m 2$. Forța maximă de atracție pentru o tensiune de 97 V la bornele bobinei, cînd curentul de descărcare atinge cca 45 A, se apreciază la 22 N .

Răcirea corpului supapei este realizată cu ajutorul unei serpentine,12, din țeavă de cupru, care înfășoară suprafața exterioară a piesei, 1, prin care circulă apa de răcire.

Gazele prelevate sînt evacuate din supapă prin canalul lo.

Deoarece cantitatea de gaz prelevată cu ajutorul acestei supape este uneori insuficientă pentru a fi analizată, a-

ceasta mai ales la durate mici de deschidere și curse mici ale supapei, este necesară prelevarea succesivă în mai multe cicluri de funcționare pînă se atinge cantitatea dorită. Pentru a nu perturba funcționarea motorului, mai ales la cilindreele mici comanda deschiderii supapei se realizează prin intermediul unui numărător electronic de turații, care permite deschiderea succesivă a supapei la intervale suficient de mari (loc - 15o cicluri) astfel încît, prelevarea probei de gaz dintr-un ciclu, să nu influențeze funcționarea motorului în timpul ciclului cînd are loc următoarea prelevare a gazului; momentele deschiderii și închiderii supapei fiind aceleași la toate prelevările pentru o anumită determinare.

In cazul în care s-ar dispune pentru analiza gazelor de o instalație de cromatografiere, la care probele de gaz pot avea volume mici, se pot obține cu ajutorul numărătorului introdus în schema de comandă și cîte o singură prelevare de gaz dintr-un ciclu.

In figura 12.7 se arată schematizat elementele componente ale instalației electronice de comandă a deschiderii supapei

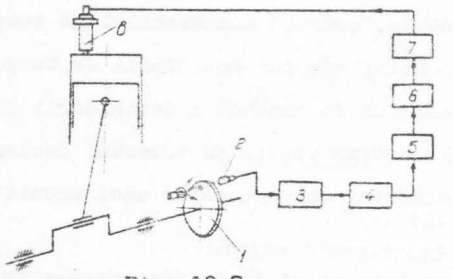


Fig. 12.7
Elementele componente ale instalației electronice de comandă.
1-disc cu fantă; 2-fotodiodă; 3-circuitul de amplificare; 4-numărător; 5-circuitul de temporizare; 6-monostsbilul pentru formarea impulsurilor de aprindere; 7-circuitul de putere; 8-supapă.

la intervalul de cicluri dorit precum și la un anumit unghi de avans sau de întîrziere în raport cu P.M.S .

Pe arborele cotit al motorului este montat un disc 1, prevăzut cu o fantă în dreptul căreia se află sursa luminoasă într-o parte,

iar în cealaltă parte fotodioda 2. In felul acesta se obţine la fiecare rotaţie a arborelui cotit un impuls de comandă la ieşirea A a circuitului de amplificare schiţat în figura 12.8, datorită variaţiei curentului în circuitul fotodiodei.

Impulsurile de la ieşirea A comandă numărătorul electric notat cu 4 în figura 12.7. Numărătorul este în baza 2 şi este compus din 9 bistabile putînd astfel executa comenzi la una din următoarele turaţii: 2,4,8,16,32,64,128,256 şi 512.

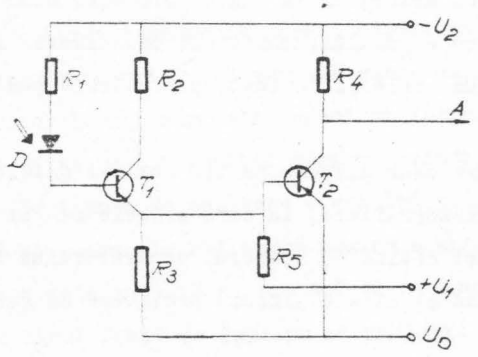


Fig. 12.8
Schema circuitului de amplificare

Ieşirile ultimilor 4 bistabile ale numărătorului, care prezintă interes pentru scopul propus, sînt legate la un comutator cu mai multe poziţii. Semnalul de la comutator, care se succede la un număr n rotaţii, funcţie de poziţia la care se fixează acesta, comandă monostabilul de temporizare 5 în figura 12.7 . Rolul acestui monostabil de temporizare este de a deplasa semnalul de comandă a deschiderii supapei cu un anumit interval de timp pentru ca momentul declanşării acesteia să coincidă cu momentul corespunzător unui anumit punct de pe ciclu.

Este posibil să se lucreze şi fără introducerea în schemă a acestui monostabil de temporizare dacă se deplasează ansamblul fotodiodă-sursă luminoasă pe un sector circular gradat, cu numărul de grade dorit pentru deplasarea semnalului de comandă a deschiderii supapei.

Impulsurile de durată variabilă generate de monostabilul de temporizare, atacă monostabilul de comandă a tiristorului din schema circuitului de putere redată în figura 12.9.

Impulsurile negative de durată determinată, generate de monostabilul de comandă a tiristorului, se aplică pe baza tranzistorului T_1 trecîndu-l în conducţie pentru comanda tiristorului. Pe electrodul de comandă a tiristorului se aplică tensiunea sursei de 2,5 V .

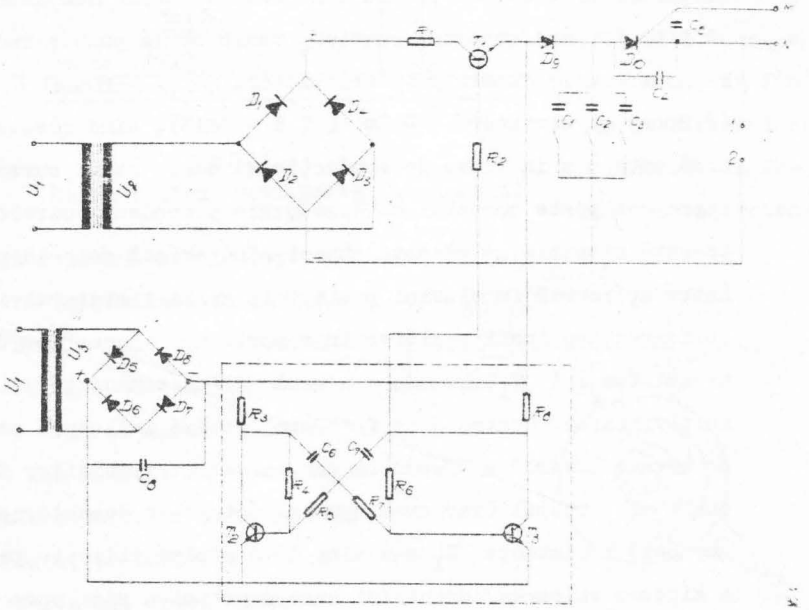


Fig. 12.9
Schema circuitului de putere.

Circuitul de putere este alimentat de un redresor monofazat în punte a cărui transformator este prevăzut cu prize în secundar pentru reglajul tensiunii redresate. Prin manevrarea corespunzătoare a întrerupătoarelor, se pot introduce sau scoate din circuit anumiţi condensatori din bateria de condensatoa-

re. Atunci cînd se aplică impulsul pozitiv la grila tiristorului, acesta este pus în conducţie şi condensatoarele introduse în circuit se descarcă în bobina supapei conectată la bornele 5 şi 6, realizînd astfel comanda de ridicare a acesteia. Valorile capacităţilor condensatoarelor introduse în circuit sînt funcţie de forţa de apăsare a resortului supapei, cursa acesteia şi durata totală de deschidere.

Frecvenţa multivibratorului a fost fixată experimental la valoarea de 800 Hz pentru a se reduce la minimum intervalul de timp în care curentul continuu venit de la puntea redresoare poate trece direct prin tranzistorul T_1, dioda D 9 (P 8004) şi tiristorul D 10 (T R - 3015), cînd acesta din urmă este pus în stare de conducţie,şi deci acest curent s-ar suprapune peste curentul de descărcare a condensatoarelor. Această situaţie se găseşte atunci cînd există coincidenţă între aplicarea impulsului pozitiv la grila tiristorului şi aplicarea tensiunii pozitive în raport cu emiterul pe baza tranzistorului T_1, aceasta din urmă fiind comandată de către multivibrator. Pentru a se face neglijabilă influenţa pe care ar avea-o această suprapunere asupra caracteristicilor funcţionale ale supapei (varierea duratei totale de deschidere a supapei) rezistenţa R_1 s-a ales de o mărime ridicată pentru a micşora valoarea curentului care s-ar putea suprapune peste curentul de descărcare a bateriei de condensatoare.

La prelevarea probelor de gaz în timpul compresiunii, prelevarea trebuie să înceapă spre sfîrşitul procesului cînd se realizează un grad mai mare de omogenitate a conţinutului cilindrului şi în plus, durata de deschidere trebuie să fie mai mare pentru a preleva cantităţi mai mari de gaz, ceea ce implică suprimarea arderii pentru ciclul respectiv.

In acest scop s-a realizat un releu pentru suprimarea aprinderii la M.A.S. (fig. 12.10).

La prelevarea probelor de gaz în cursa de compresiune, bobina releului este legată în paralel cu bobina supapei iar bornele 6 şi 7 ale releului sînt legate la bornele platinelor ruptorului magnetoului (fig.12.11) sau a delcoului, în funcţie de sistemul de aprindere. In felul acesta, comenzile releului şi ale supapei sînt sincronizate şi acţionate simultan de către circuitul electronic de comandă.

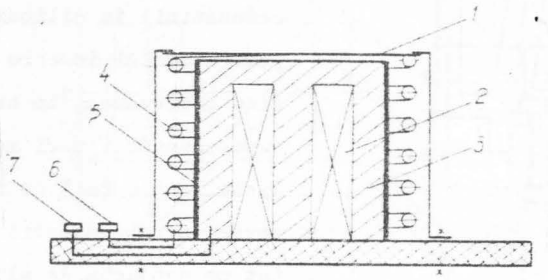


Fig. 12.10
Releu pentru suprimarea aprinderii la M A S .

Funcţionarea releului are loc astfel: la descărcarea condensatoarelor introduse în circuit, pe bobinele supapei şi releului, discul 1 este atras de miezul din fier 3. Din momentul în care acest disc vine în contact cu miezul din fier şi pînă în momentul în care se desface acest contact, se stabileşte o legătură directă între platinele ruptorului prin intermediul arcului, discului şi miezului din fier, ceea ce face ca aprinderea să fie suprimată în

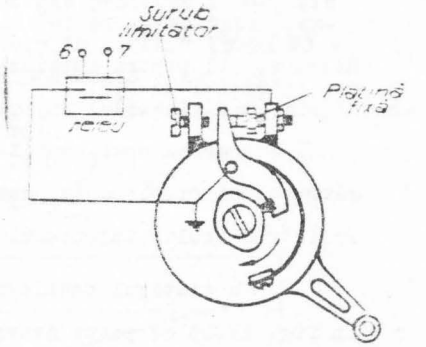


Fig. 12.11
Schema de legare în paralel a releului pentru suprimarea aprinderii cu ruptorul magnetoului.

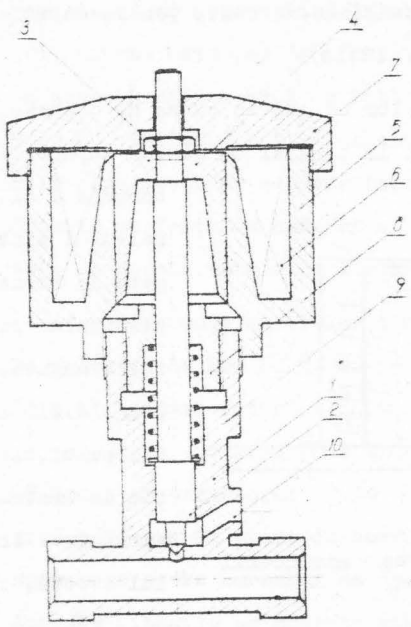


Fig. 12.12

Releu ventil pentru suprimarea injecției la M.A.C.
1-1o (v.fig.12.6)

cursul ciclului cînd are loc prelevarea probei de gaz.

In mod similar, se poate opri injecția de combustibil în cilindru, pentru ciclul în care se face prelevarea, în cazul experimentării unui motor Diesel rapid dacă se folosește un releu-ventil montat pe conducta de alimentare a injectorului de tipul celui prezentat în fig. 12.12. Executîndu-se comanda releului ventil înaintea începerii ridicării acului injectorului releul va asigura scurgerea unei cantități de combustibil prin ștuțul 1o , către exterior, ceea ce are ca efect scăderea presiunei necesare ridicării acului injectorului.

Cu ajutorul oscilogramei de ridicare a supapei schițată în fig. 12.13 se poate determina timpul τ_i de întîrziere la deschiderea supapei, timpul τ_r necesar ridicării supapei la înălțimea maximă, timpul τ_{max} de deschidere la înălțimea maximă de ridicare a supapei, timpul total de deschidere a supapei, τ_t precum și timpul

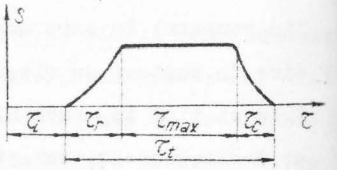


Fig. 12.13
Schema oscilogramei de ridicare a supapei.

τ_c necesar coborîrii supapei.

Pentru astfel de supape de prelevat probe de gaz, este important de cunoscut și alte caracteristici funcționale ale acesteia. In fig. 12.14 și 12.15 s-a dat cîteva din aceste caracteristici, obținute la experimentarea supapei.

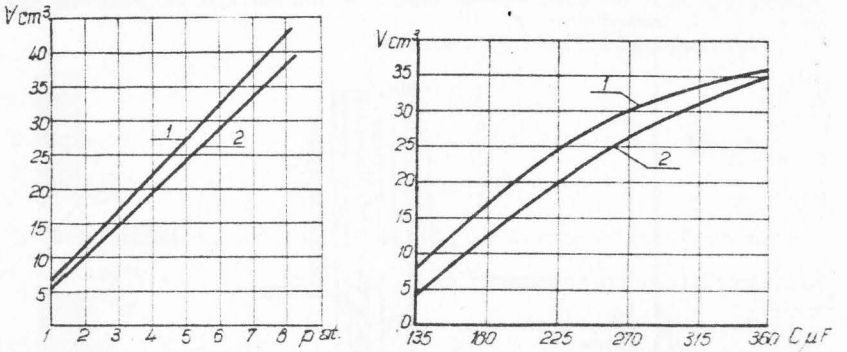


Fig. 12.14

Variația debitului de gaz prelevat în funcție de: presiunea gazului (a) și capacitatea condensatoarelor introduse în circuit (F=21 N) .

1. pentru funcționarea independentă a supapei;
2. pentru funcționarea supapei în paralel cu releul pentru suprimarea aprinderii.

a - (S = o,278 mm; C = 225 μF) ;

b - (S = o,15 mm ; p = 7,5.10^5.N/m^2).

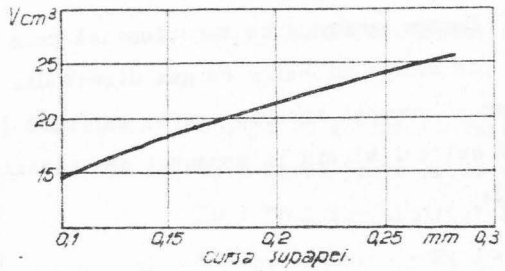


Fig. 12.15

Variația debitului de gaz prelevat în functie de cursa supapei.

F = 21 N ; p = 7,5 at ; C = 18o μF .

In scopul prelevării probelor de gaz direct din țeavă sau colectorul de evacuare au fost concepute, în special pentru motoarele în doi timpi, diferite supape a căror deschidere este comandată de presiunea curentului de gaze ce se evacuează din ferestre. Două din aceste două supape sînt arătate în fig. 12.16 iar modul de amplasare ale acestor supape se redă în fig. 12.17.

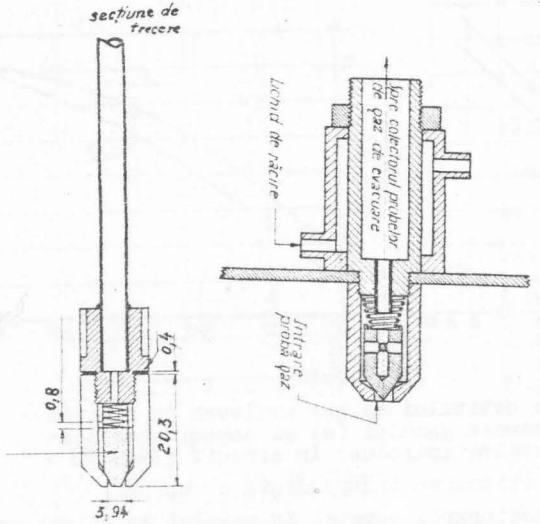


Fig. 12.16
Supape cu funcționare prin impact [7] [8] .

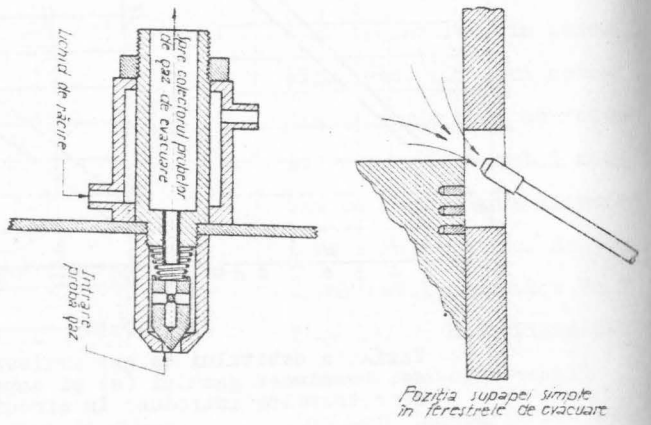


Fig. 12.17
Modul de amplasare a supapei ce funcționează prin impact în timpul prelevării.

Pentru supapele ce funcționează prin impact, utilizate pentru prelevarea probelor de gaz direct din fereastra de evacuare arcul supapei trebuie astfel calculat încît supapa să se închidă cel mai tîrziu în momentul deschiderii ferestrei de baleiaj.

- BIBLIOGRAFIE -

1. Preobrajenski, V.P. Măsuri și aparate de măsurat termotehnice. Ed. Tehnică, București, 1960.

2. Орлин А С и Круглов, М Г Двухтактные двигатели, Машгиз, Москва, 1960

3. Burghardt, K. Ventil zur Entnahme von Gosproben aus dem Brennraum schellaufendeuder VerbrennungsKraftmaschinen. In : "Kfraftfahrzeng technick" nr.1, 1962, pg. 17 - 19.

4. Орлин, А.С. и Круглов, М.Г Комбинированные двухтактные двигатели Изд. "Машиностроение", Москва 1968

5. Asanuma,T., Yanaginare, S. Gas sampling valve for measuring scavenging efficiency. In : "S.A.E. Transactions", 1962, pg. 420 - 433 .

6. Gutman,M., Turic, L. Supapă cu acționare rapidă pentru prelevarea probelor de gaz. In : "Bul.Inst.Polit." Iași, t.XV (XIX), fasc. 1 - 2, 1969.

- Tabela 1 -

Valorile factorului de corecție ξ_α a valorilor erorilor calculate pentru un număr limitat de măsurători [x]

k=n-1 \ α	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
1	0,158	0,325	0,510	0,727	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
2	0,142	0,289	0,445	0,617	0,816	1,061	1,336	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	0,137	0,277	0,424	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
4	0,134	0,271	0,414	0,569	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,132	0,267	0,408	0,559	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
6	0,131	0,265	0,404	0,553	0,718	0,906	1,134	1,440	1,953	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,130	0,263	0,402	0,549	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
8	0,130	0,262	0,399	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,129	0,261	0,398	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,129	0,260	0,397	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,129	0,260	0,396	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,487
12	0,128	0,259	0,395	0,539	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,128	0,259	0,394	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,128	0,258	0,393	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,128	0,258	0,393	0,536	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,128	0,258	0,392	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,128	0,257	0,392	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965

[x] Acest tabel este luat din cartea "Măsurări și aparate de măsurat termotehnice" de Preobrajenski, V. P. Editura Tehnică, Bucuresti, 1960.

- Tabela II -

Valoarea funcției $\varphi(\xi)$ după variabila independentă ξ [x]

Intregi	Z e c i m i									
	o,o	o,1	o,2	o,3	o,4	o,5	o,6	o,7	o,8	o,9
o	o,3989	o,397o	o,391o	o,3814	o,3683	o,3521	o,3332	o,3123	o,2897	o,2661
1	o,242o	o,2179	o,1942	o,1714	o,1497	o,1295	o,1109	o,094o	o,o79o	o,o656
2	o,54oo	o,o44o	o,o355	o,o283	o,o224	o,o175	o,o136	o,o1o4	o,oo79	o,oo6o
3	o,o44o	o,oo33	o,oo14	o,oo17	o,oo12	o,ooo9	o,ooo6	o,ooo4	o,ooo3	o,ooo2
4	o,oo1o	o,ooo1	o,ooo1	'	'	'	'	'	'	'

- Tabela III -

Valorile suprafeței de sub curba normală y, de la $-\infty$ la ξ [x]

ξ	o,o	o,1	o,2	o,3	o,4	o,5	o,6	o,7	o,8	o,9
o	o,5ooo	o,5398	o,5793	o,6179	o,6554	o,6915	o,7257	o,758o	o,7881	o,8159
1	8413	8643	8849	9o32	9192	9332	9452	9554	9641	9713
2	9772	9821	9861	9893	9918	9937	9933	9965	9974	9981

[x] Aceste tabele sînt luate din cartea Сороко-Новицкий, В.И. Испытания автотракторных двигателей, Машгиз Москва, 1960

- Tabela IV -

Criteriul lui Chauvenet [x]

Valorile limită ale lui hx, x/σ și x/ρ corespunzătoare diferitelor valori ale șirului de citiri n, pentru excluderea unei citiri dintr-un ansamblu din cauză că, în comparație cu celelalte citiri, are o influență prea mare asupra valorilor calculate.

n	hx	x/σ	x/ρ	n	hx	x/σ	x/ρ
5	1,16	1,68	2,44	2o	1,58	2,24	3,32
6	1,22	1,73	2,57	22	1,61	2,28	3,38
7	1,27	1,79	2,68	24	1,63	2,31	3,43
8	1,32	1,86	2,76	26	1,66	2,35	3,47
9	1,35	1,92	2,84	3o	1,69	2,39	3,55
1o	1,39	1,96	2,91	4o	1,77	2,5o	3,7o
12	1,44	2,o3	3,o2	5o	1,82	2,58	3,82
14	1,49	2,1o	3,12	1oo	1,98	2,8o	4,16
16	1,52	2,16	3,2o	2oo	2,14	3,o2	4,48
18	1,56	2,2o	3,26	5oo	2,33	3,29	4,88

[x] Acest tabel este luat din cartea "Prelucrarea datelor experimentale" de Worthing, A.G. și Geffner, J., Editura Tehnică, București, 1959.

- Tabela V -

Punctele fixe de temperatură de ordinul II sub $0^{o}C$.[x]

Materia	°C	°K	Observaţii
1	2	3	4
Arhidridă sulfuroasă SO_2	-o,99	263,17	Punct de fierbere
Tetraclorură de carbon CCl_4	-22,9	25o,25	Punct de solidificare
Clorură de metil CH_3Cl	-23,5	249,65	Punct de fierbere
Amoniac NH_3	-33,36	239,79	Punct de fierbere
Mercur Hg (amestec natural mediu de izotopi)	-38,87	234,28	Punct de solidificare
Clorură de benzol C_6H_5Cl	-45,5	227,65	Punct de solidificare
Cloroform $CHCl_3$	-63,7	2o9,45	Punct de solidificare
Bioxid de carbon CO_2	-78,51	194,64	Punct de sublimare
Acid clorhidric HCl	-85,o2	188,13	Punct de fierbere
Toluen C_7H_8	-95,o	178,15	Punct de solidificare
Clorură de metil CH_3Cl	-1o3	17o,15	Punct triplu
Etilen C_2H_4	-1o3,7o	169,45	Punct de fierbere
Xenon X	-1o8,o5	165,1o	Punct de fierbere
Sulfură de carbon CS_2	-111,8	161,35	Punct de solidificare
Eter etilic $(C_2H_5)O_2$	-123,4	149,75	Punct de solidificare
Kripton Kr	-152,3o	12o,85	Punct de fierbere
Izopentan C_5H_{12}	-159,6	113,55	Punct de solidificare
Metan CH_4	-161,35	111,8o	Punct de fierbere
Etilen C_2H_4	-169,3	1o3,85	Punct triplu
Oxigen O_2	-182,97	9o,18	Punct de fierbere
Argon A	-185,8	87,35	Punct de fierbere
Oxid de carbon CO	-191,49	81,67	Punct de fierbere

Continuare tabela V

1	2	3	4
Azot N_2	-195,81	-77,34	Punct de firbere
Oxid de carbonCO	-211,7	-61,45	Punct de transformare
Oxigen O_2	-229,4o	-43,75	Punct de transformare
Neon Ne	-246,o9	-27,o6	Punct de fierbere
Hidrogen H_2	-252,78	-2o,37	Punct de fierbere
Heliu He (amestec mediu natural de izotopi)	-268,94	- 4,21	Punct de fierbere

[x] Această tabelă s-a luat din cartea :"Messung, Erzeugung und Konstanthaltung hoher biz tiefer Temperaturen" de Laporte, H, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1961.

- Tabela VI -

Puncte fixe de temperatură de ordinul II peste 0^{o} C. [x]

Materia	^{o}C	^{o}K	Observaţii
Sulfat de natriu ($Na_2SO_4+10H_2O$)	+32,38	305,53	Punct de transformare
Naftalină $C_{10}H_8$	+218,0	491,15	Punct de fierbere
Staniu Sn	+231,8	504,95	Punct de topire
Benzofenonă $C_{13}H_{10}O$	+305,9	579,05	Punct de fierbere
Cadmiu Cd	+321,0	594,15	Punct de topire
Plumb Pb	+327,3	600,45	Punct de topire
Mercur Hg (amestec mediu natural de izotopi)	+356,58	629,73	Punct de fierbere
Zinc Zn	+491,505	692,655	Punct de topire
Antimoniu Sb	+630,50	903,65	Punct de topire
Aluminiu Al	+660,1	933,25	Punct de topire
Clorură de natriu Na Cl	+800,4	1073,55	Punct de topire
Cupru Cu	+1083	1356	Punct de topire
Nicbel Ni	+1455	1728	Punct de topire
Fier Fe	+1539	1812	Punct de topire
Paladium Pd	+1556	1829	Punct de topire
Platină Pt	+1769	2042	Punct de topire
Rodiu Rh	+1960	2233	Punct de topire
Iridiu Ir	+2443	2716	Punct de topire
Wolfram W	+3380	3653	Punct de topire

x

Această tabelă s-a luat din cartea : "Messung, Erzengung und Konstanthaltung hoher bis tiefer Temperaturen de Laporte, H. VEB Fochbuchverlag, Leipzig, 1961.

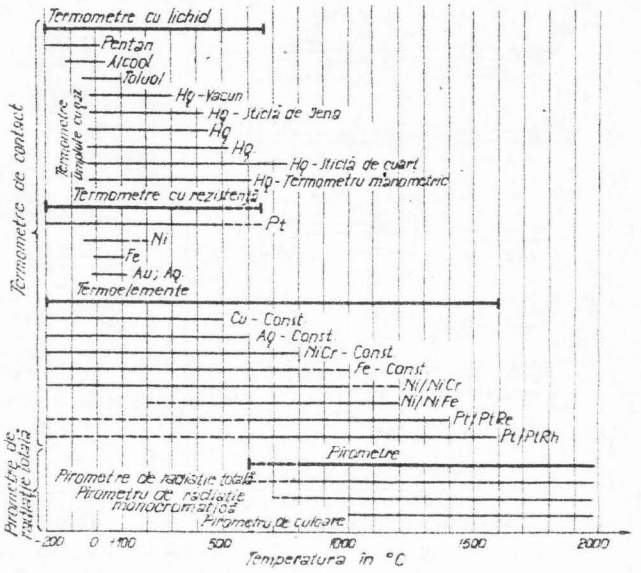
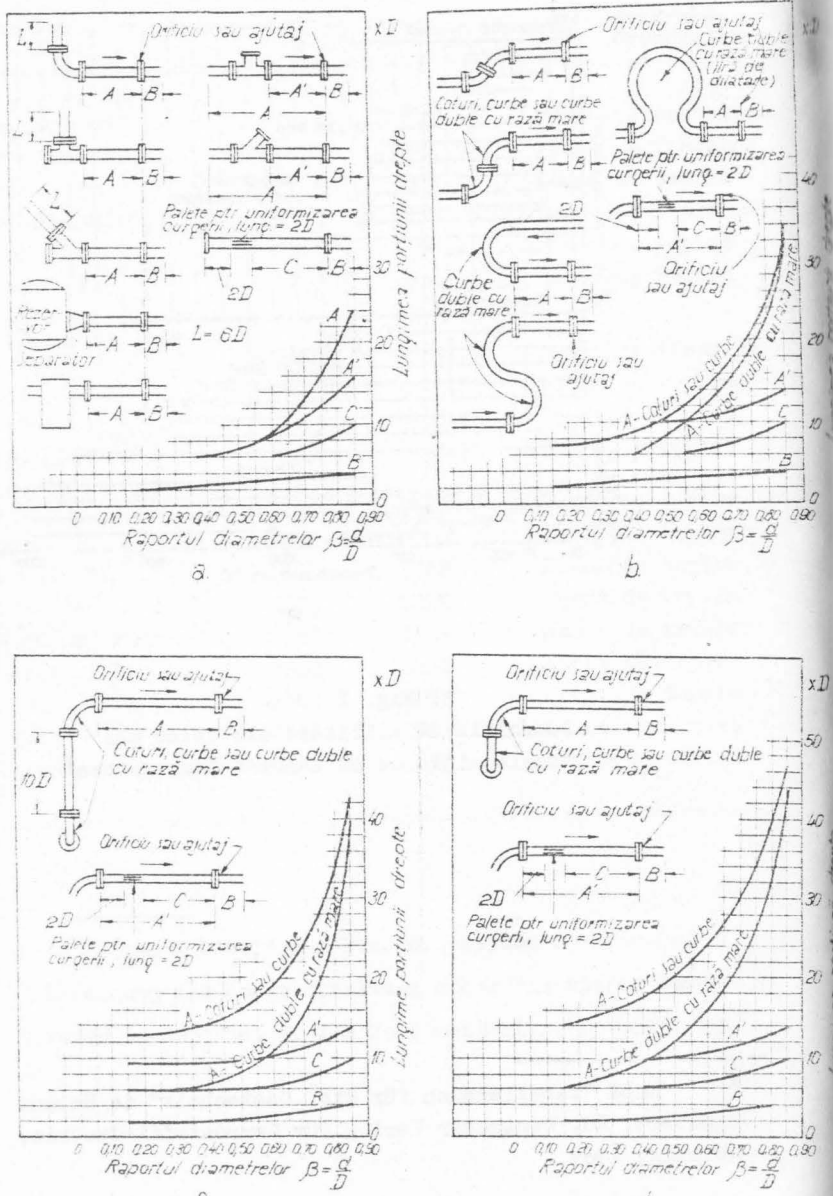


Fig. I
Domeniile de utilizare ale celor mai uzuale mijloace de măsurat temperatura [x]

x După "Tabellenbuch für die Gastechnik" de Helmut Schubert, Ed. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1969 .



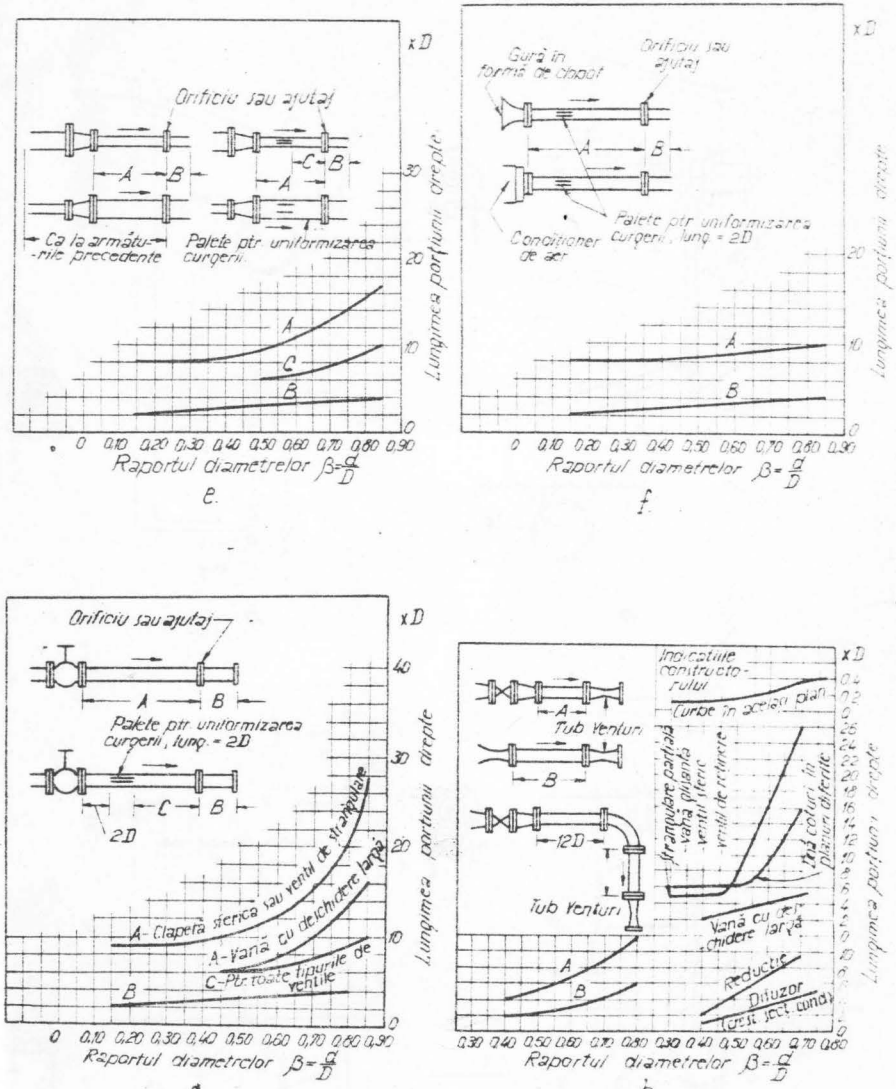
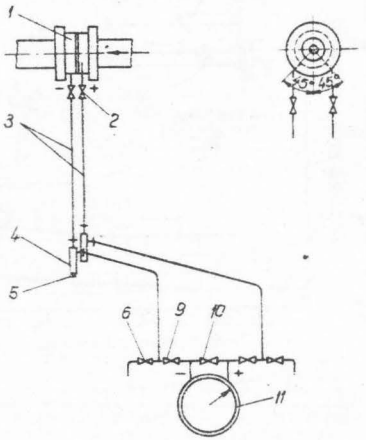


Fig. II

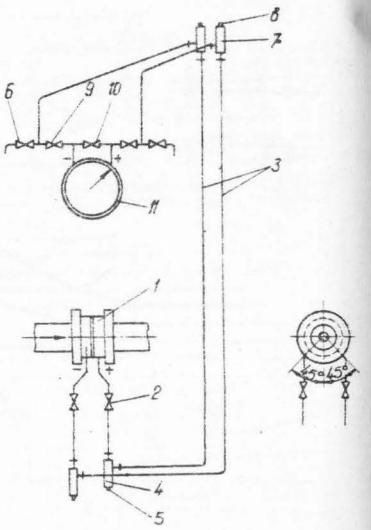
Condiţii impuse dimensiunilor tronsoanelor de măsurare a debitului care conţine diafragme, utilaje şi tuburi Venturix.

---

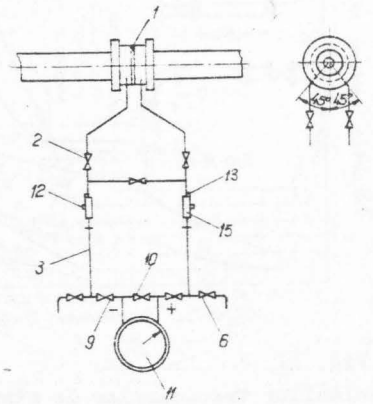
x După "Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements" de Benedict, P.,Robert, Ed.Wiley & Sons,New-York, 1969.


1
2
3
4
5
6
9
10
11
45°
45°

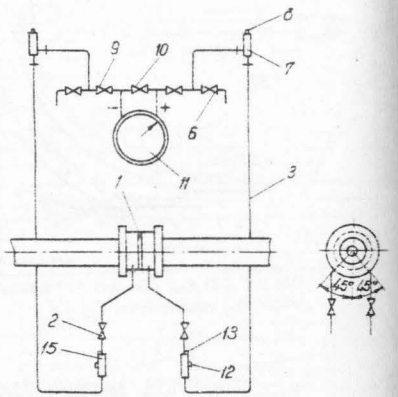
a.


8
7
6
9
10
11
3
1
2
4
5
45°
45°

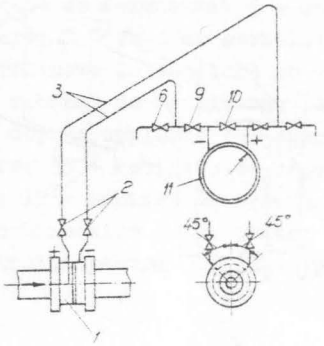
b.


1
2
12
13
15
3
10
9
6
11
45°
45°

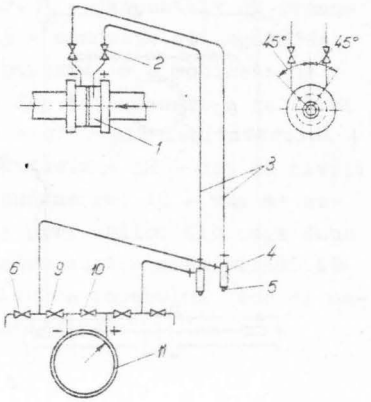
c.


8
7
9
10
6
11
1
3
2
15
13
12
45°
45°

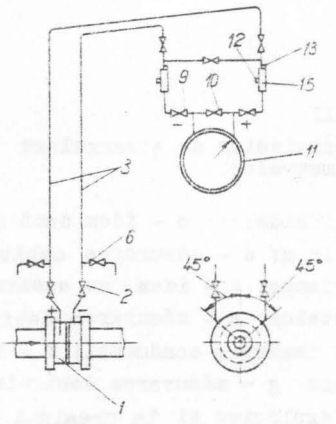
d.


3
6
9
10
11
2
45°
45°
1

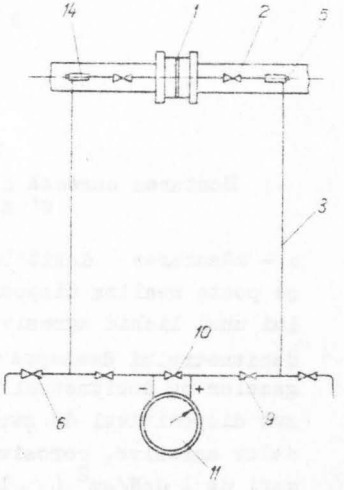
e.


45°
45°
2
1
3
4
5
6
9
10
11

f.


12
13
9
10
15
11
3
6
2
45°
45°
1

g.


14
1
2
5
3
10
6
9
11

h.

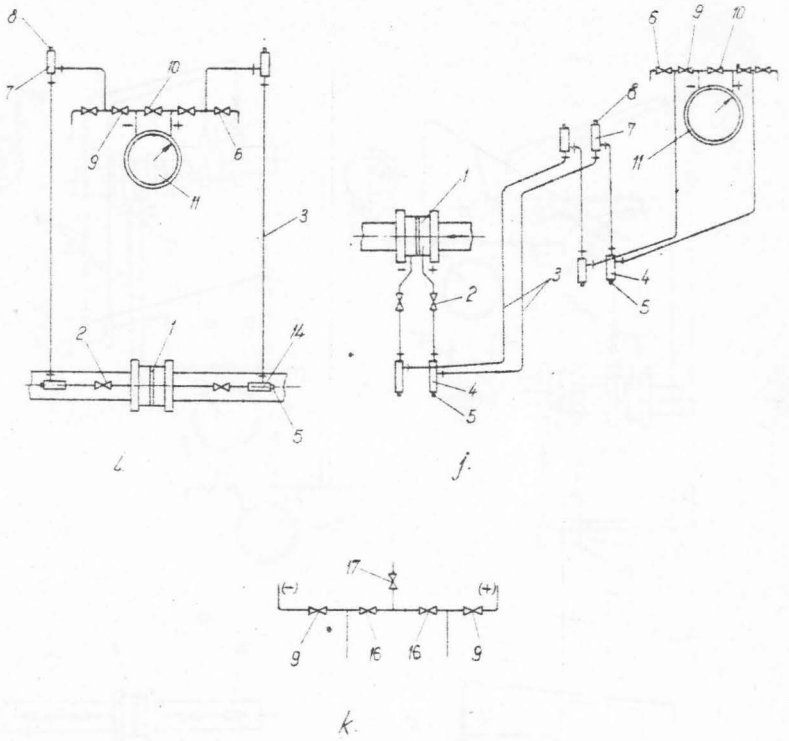


Fig. III
Montarea corectă a dispozitivelor de ştrangulare şi a debitmetrelor.

a - măsurarea debitelor lichidelor; b - idem dacă nu se poate realiza dispoziţia din a; c - măsurarea debitului unui lichid agresiv sau vîscos; d - idem, cu aşezarea debitmetrului deasupra conductelor; e - măsurarea debitelor gazelor cu debitmetrul montat deasupra conductei; f - idem sub dispozitivul de ştrangulare; g - măsurarea debitului gazelor agresive, corosive sau explosive şi la presiuni mai mari de 1 daN/cm^2 ($\approx$ 1,o2 Kgf/cm^2) cu vas de separare; h - măsurarea debitului de abur în dispoziţia recomandată; i - idem, dacă nu este posibilă dispoziţia h; j - măsurarea debitelor de lichide în cazul realizării înclinării conductei în mai multe trepte (la fiecare treaptă se va monta cîte un vas de decantare); k - bloc de robinet care se poate utiliza la măsurarea debitului gazelor. 1 - dispozitiv de strangulare; 2 - robinete de legătură; 3 - conducte de legătură; 4 - vase de decantare; 5 - dop de purjare; 6 - robinete de purjare; 7 - vase de aerisire; 8 - dop de evacuare a gazelor; 9 - robinete de legătură cu vasele + şi - ale debitmetrului ; lo - robinet de egalizare; 11 - debitmetru; 12 - dop de nivel; 13 - dop de umplere; 14 - vas de condensare; 15 - vas de separare; 16 - robinete de separare a presiunilor din cele două vase; 17 - robinet de evacuare, pentru controlarea etanşeităţii robinetelor 16 şi pentru verificarea reperului zero al manometrului pentru măsurarea presiunii statice.

---

x După STAS 7347 - 7o .

TABLA DE MATERII

Pag.

Prefaţă 3

Cap. 1. Introducere

1.1. Obiectul cursului 5

1.2. Istoric 6

Bibliografie 18

Cap. 2. Noţiuni de metrologie generală

2.1. Generalităţi 19

2.2. Măsurare. Clasificarea măsurărilor 21

2.3. Lanţ de măsurare 23

2.4. Metode de măsurare 26

2.4.1. Clasificarea metodelor de măsurare 26

2.4.2. Măsurări analogice 27

2.4.3. Măsurări numerice 27

2.4.4. Metoda de măsurare prin deviaţie 28

2.4.5. Metoda de măsurare prin comparaţie 29

2.4.6. Metoda de măsurare prin analogie 3o

2.4.7. Măsurări statistice 33

2.5. Caracteristicile principale ale aparatelor şi instrumentelor de măsurare 33

2.5.1. Măsurări statice, cvasistatice şi dinamice 33

2.5.2. Caracteristicile instrumentelor de măsură 34

Pag

2.5.2.1. Domeniul de măsurare 35

2.5.2.2. Justeţea 36

2.5.2.3. Sensibilitatea 37

2.5.2.4. Fidelitatea 38

2.5.2.5. Precizia 39

2.5.2.5.1. Clasa de precizie 4o

2.5.2.5.2. Rezoluţia. Puterea de rezoluţie 41

2.5.2.6. Modul de reacţie a instrumentului în contact cu mediul 42

2.5.2.6.1. Energia legată de măsurare. Impedanţa metrologică 42

2.5.2.6.2. Rigiditatea instrumentului de măsurare 44

2.5.2.6.3. Fineţea instrumentului de măsurare 46

2.5.2.7. Alte caracteristici 47

2.5.2.7.1. Factorul de merit 47

2.5.2.7.2. Timpul de răspuns 48

2.5.2.7.3. Fiabilitatea 48

2.6. Factorii de care depinde alegerea metodei sau mijlocului de măsurare 48

2.6.1. Factori metrologici 49

2.6.1.1. Caracteristici şi cerinţe impuse pentru măsurările dinamice 5o

2.6.1.1.1. Intîrzierea 5o

2.6.1.1.2. Timpul de răspuns pentru valori apropiate cu X% de valoarea reală 5o

2.6.1.1.3. Timpul de măsură 5o

2.6.1.1.4. Timpul de revenire 51

2.6.1.1.5. Cadenţa măsurărilor 51

Pag

2.6.1.1.6. Frecvenţa şi pulsaţia proprie 51
2.6.1.1.7. Frecvenţa şi pulsaţia de rezonanţă 51
2.6.1.1.8. Coeficientul de amortizare f 52
2.6.2. Factori de tehnica măsurării 52
2.6.2.1. Distribuţia măsurărilor în timp 52
2.6.2.2. Amplasarea punctului de măsurare 53
2.6.2.3. Accesibilitatea punctului de măsurare 53
2.6.2.4. Natura mediului supus măsurării 53
2.6.2.5. Condiţiile mediului ambiant 54
2.6.2.5.1. Temperatura 54
2.6.2.5.2. Presiunea 55
2.6.2.5.3. Umiditatea 55
2.6.2.5.4. Acceleraţiile şi vibraţiile 56
2.6.2.5.3. Cîmpurile electrice şi magnetice 56
2.6.2.5.6. Timpul 57
2.6.3. Factori derivaţi din modul în care trebuie utilizat rezultatul măsurării 57
2.6.4. Factori tehnico-economici 59
Bibliografie 6o

Cap. 3. Prelucrarea datelor experimentale

3.1. Reprezentarea datelor experimentale 61
3.1.1. Reprezentarea datelor experimentale sub formă de tabele 61
3.1.2. Reprezentarea datelor prin grafice 65
3.1.3. Reprezentarea datelor prin ecuaţii 69
3.2. Erori de măsurare 77
3.2.1. Erori în general 77
3.2.2. Valorile unei mărimi 8o

Pag

3.2.2.1. Valoarea adevărată a unei mărimi 8o
3.2.2.2. Valoarea efectivă a unei mărimi 8o
3.2.2.3. Valoarea individuală măsurată a unei mărimi 8o
3.2.2.4. Valoarea individuală a unei mărimi 8o
3.2.2.5. Valoarea medie (aritmetică) a unei mărimi 8o
3.2.2.6. Valoarea mediamă 81
3.2.2.7. Valoarea medie ponderată a măsurărilor 82
3.2.3. Calculul erorilor în cazul măsurărilor directe 83
3.2.3.1. Eroarea aderată a valorii individuale 83
3.2.3.2. Eroarea aparentă a valorii medii 83
3.2.3.3. Eroarea medie aritmetică 84
3.2.3.4. Eroarea medie pătratică a valorii individuale 84
3.2.3.5. Eroarea probabilă a valorii individuale 85
3.2.3.6. Eroarea medie pătratică a valorii medii aritmetice 85
3.2.3.7. Eroarea limită a valorii individuale 86
3.2.3.8. Eroarea relativă 86
3.2.3.9. Calculul erorii în cazul considerării valorii medii ponderate 87
3.2.3.1o. Corectarea erorilor calculate 88
3.2.4. Calculul erorilor în cazul măsurărilor indirecte 89
3.2.5. Distribuţia normală a frecvenţelor 91

Pag

3.2.5.1. Legea împrăştierii erorilor întîmplătoare 91

3.2.5.2. Legea distribuţiei normale a frecvenţelor 92

3.2.5.3. Criteriul lui Chauvenet 94

Bibliografie 96

Cap. 4. Generalităţi asupra măsurărilor

4.1. Generalităţi privind măsurările efectuate în cadrul experimentării maşinilor termice şi mărimile fundamentale determinate la aceste experimentări 97

4.2. Corelaţia care există între mărimile care se pot măsura şi cele care pot fi calculate 1oo

Bibliografie 1o2

Cap. 5. Măsurarea temperaturilor

5.1. Temperatura, scări de temperatură şi puncte fixe 1o3

5.2. Generalităţi privind măsurarea temperaturii 1o8

5.3. Clasificarea mijloacelor de măsurare a temperaturii 11o

5.4. Termometre bazate pe dilatarea corpurilor 111

5.4.1. Termometre bazate pe dilatarea solidelor 111

5.4.1.1. Termometre cu tijă 111

5.4.1.2. Termometre bimetalice 112

5.4.2. Termometre bazate pe dilatarea lichidelor 115

Pag

5.4.2.1. Termometre manometrice cu lichid 116

5.4.2.2. Termometre de sticlă cu lichid 117

5.4.2.2.1. Construcţia termometrelor de sticlă cu lichid 117

5.4.2.2.2. Construcţii speciale de termometre de sticlă 12o

5.4.2.2.2.1. Termometre pentru măsurarea diferenţelor mici de temperatură 12o

5.4.2.2.2.2. Termometre de sticlă cu contacte electrice 12o

5.4.2.2.3. Erori de măsurare la termometrele de sticlă 121

5.4.3. Termometre bazate pe dilatarea gazelor sau pe variaţia presiunii gazelor 125

5.4.3.1. Termometre manometrice cu gaz 125

5.5. Termometre sau repere termometrice bazate pe schimbarea stării 126

5.5.1. Termometre manometrice cu vapori saturaţi 126

5.5.2. Măsurări bazate pe punctul de topire a materialelor 127

5.5.3. Culori cu caracteristici (funcţie de temperatură (culori termoscopice) 128

5.6. Termometre cu rezistenţă electrică 13o

5.6.1. Termometre cu rezistenţă metalică 131

5.6.1.1. Principiul de măsurare, materiale utilizate pentru rezistenţele metalice şi construcţia acestora 131

Pag

5.6.1.2. Aparate şi metode pentru măsurarea rezistenţelor 14o

5.6.1.3. Erori la măsurare termorezistenţelor 14o

5.6.2. Termometre cu termistoare

5.7. Termometre termoelectrice 147

5.7.1. Principiul de măsurare şi legi de bază 147

5.7.2. Materiale utilizate pentru termocupluri 151

5.7.3. Confecţionarea termocuplurilor 154

5.7.4. Temperatura sudurii 156

5.7.5. Cabluri de compensaţie 158

5.7.6. Fixarea termocuplurilor 16o

5.7.6.1. Măsurarea temperaturii corpurilor solide 16o

5.7.6.2. Măsurarea temperaturii fluidelor cu ajutorul termocuplurilor 165

5.7.7. Montaje speciale 177

5.7.8. Mijloace şi procedee pentru măsurarea t.t.e.m. 178

5.7.9. Erori la măsurarea temperaturilor cu ajutorul termocuplurilor 179

5.8. Termometre cu cristale de cuarţ 182

5.9. Aparate pentru măsurarea temperaturii corpurilor bazate pe radiaţia lor termică 183

5.9.1. Generalităţi 183

5.9.2. Pirometrul de radiaţie totală 184

Pag

5.9.3. Pirometre de radiaţie monocromatică 186

5.9.3.1. Pirometrul optic monocromatic cu dispariţia filamentului 187

5.9.3.2. Pirometrul fotoelectric monocromatic 189

5.9.4. Pirometrul de culoare 19o

5.9.4.1. Pirometre bazate pe metoda comparării optice a strălucirilor 19o

5.9.4.2. Pirometrul de culoare obiectiv 191

5.1o. Etalonarea şi verificarea termometrelor 192

5.1o.1. Punctul fix de topire a gheţii 192

5.1o.2. Punctul fix de fierbere a apei 193

5.1o.3. Obţinerea temperaturilor mai mari ca 1oo°C 194

5.1o.4. Obţinerea temperaturilor mai mici ca 0°C 195

Bibliografie 198

Cap. 6. Măsurarea presiunii şi a diferenţei de presiune

6.1. Presiunea. Unităţi de măsură 2oo

6.2. Generalităţi privind măsurarea presiunii şi a diferenţei de presiune 2o2

6.3. Alegerea aparatelor de măsurat 2o3

6.4. Clasificarea metodelor şi aparatelor pentru măsurarea presiunilor 2o5

6.5. Aparate cu lichid 2o6

6.5.1. Aparate cu tub U 2o7

6.5.2. Aparate cu rezervor şi tub vertical 212

Pag

6.5.3. Micromanometre 213

6.5.3.1. Micromanometrul cu rezervor şi tub înclinat 213

6.5.3.2. Micromanometrul tip Prandtl 215

6.5.3.3. Micromanometrul tip micrometric 215

6.5.3.4. Micromanometrul cu aer 216

6.5.4. Aparate cu două lichide 217

6.5.5. Barometrul cu mercur 218

6.5.6. Aparate cu lichid echipate cu servomecanisme 22o

6.6. Aparate cu element elastic 222

6.6.1. Aparate cu tub 223

6.6.2. Aparate cu membrană 225

6.6.3. Aparate cu capsulă 225

6.6.4. Aparate cu burduf 226

6.7. Aparate combinate 227

6.7.1. Aparate cu plutitor 227

6.7.2. Aparate cu clopot 228

6.7.3. Aparate cu tor oscilant 229

6.8. Aparate cu piston şi greutăţi 231

6.9. Aparate de măsurat presiunea cu traductoare electrice 232

6.9.1. Aparate cu traductoare rezistive 232

6.9,2. Aparate cu traductoare inductive 234

6.9.3. Aparate cu traductoare tensometrice 235

6.9.4. Aparate cu traductoare piezoelectrice 236

6.9.5. Aparate cu traductoare capacitive 237

Pag

6.1o. Vacuumetre de presiune absolută (joasă) 238

6.1o.1. Vacuumetre mecanice 239

6.1o.2. Vacuumetre de compresie (Mac Leod) 24o

6.1o.3. Vacuumetre bazate pe conductibilitatea termică 241

6.1o.4. Vacuumetre de ionizare 243

6.1o.5. Vacuumetre bazate pe frecarea gazelor 244

6.11. Măsurarea presiunii fluidelor în mişcare 244

6.11.1. Generalităţi 244

6.11.2. Prize pentru presiunea statică 249

6.11.2.1. Orificii în pereţi 249

6.11.2.2. Tuburi statice 252

6.11.2.3. Sonde aerodinamice 253

6.11.3. Sonde pentru presiunea totală 256

6.11.4. Efectele turbulenţei 259

6.12. Indicatoare de diagrame 26o

6.12.1. Generalităţi 26o

6.12.2. Indicatoare de ciclu 261

6.12.2.1. Indicatoare mecanice 261

6.12.2.2. Indicatoare optice 263

6.12.2.3. Indicatoare electrice 264

6.12.2.4. Indicatoare stroboscopice 269

6.12.3. Indicatoare de presiune maximă 271

6.12.4. Indicatoare de presiune medie 272

6.13. Montarea aparatelor de măsurat presiuni 273

6.14. Verificarea aparatelor pentru măsurat presiunea 275

Bibliografie 277

Pag

Cap. 7. Măsurarea vitezelor fluidelor

7.1. Generalităţi 278
7.2. Metoda sondelor şi prizelor de presiune 278
7.3. Anemometre 284
7.4. Termoanemometre 285
7.5. Sonde ionice 298
7.6. Metoda de măsurare inductivă a vitezelor 298
7.7. Metode de măsurare cu izotopi radioactivi 300
7.8. Metoda cronofotografiei 301

Bibliografie 301

Cap. 8. Măsurarea cantităţilor

8.1. Generalităţi 302
8.2. Măsurarea cantităţilor depozitate 304
8.3. Măsurarea necontorizată a cantităţilor de combustibil şi alte măsurări în regim intermitent a cantităţilor unor fluide de lucru 304
8.3.1. Măsurarea consumurilor de combustibil solid 304
8.3.2. Măsurarea necontorizată a consumului de combustibil lichid 305
8.3.2.1. Măsurarea volumetrică a consumului de combustibil lichid 306
8.3.2.2. Metoda gravimetrică pentru măsurarea consumului de combustibil 307
8.3.3. Măsurarea lichidelor prin metoda umplerii unui rezervor 309
8.3.4. Măsurarea mediilor gazoase 309

Pag

8.4. Măsurarea cantităţilor cu ajutorul contoarelor 310
8.4.1. Contoare de viteză 310
8.4.2. Contoare volumetrice 311
8.4.2.1. Contor cu sistem de măsurat basculant 312
8.4.2.2. Contoare cu tambur 312
8.4.2.3. Contorul cu piston inelar 313
8.4.2.4. Contoare cu pistoane profilate 314
8.4.2.5. Contoare umede pentru gaze 315
8.4.2.6. Contoare uscate pentru gaze 315
8.5. Măsurarea debitelor de fluide 316
8.5.1. Măsurarea debitului cu ajutorul dispozitivelor de laminare 316
8.5.2. Măsurarea debitului cu ajutorul vitezelor locale determinate experimental 329
8.5.3. Măsurarea debitului cu ajutorul termoanemometrului 331
8.5.4. Debitmetre calorimetrice 331
8.5.4.1. Debitmetre calorimetrice cu măsurarea efectului caloric al încălzirii fluidului 332
8.5.4.2. Debitmetre calorice cu măsurarea temperaturii stratului limită 335
8.5.5. Debitmetre inductive (electromagnetice) 337
8.5.6. Măsurarea debitelor cu ajutorul izotopilor 337
8.5.7. Debitmetre cu ultrasunete 337

Pag

8.5.8. Debitmetre bazate pe măsurarea forţei produsă de acţiunea presiunii dinamice 341

8.5.9. Măsurarea debitului cu ajutorul unui rotometru 342

8.5.10. Debitmetru masic cu circuit în punte 346

8.5.11. Metode de măsurare a densităţii, utilizate pentru determinarea debitului masic al fluidelor 345

8.5.12. Debitmetre utilizate pentru agenţi frigorifici 348

Bibliografie 350

Cap. 9. Măsurarea timpului

9.1. Generalităţi 352

9.2. Cronometre şi cronografe mecanice 353

9.3. Ceasornice cu motor sincron 353

9.4. Măsurarea intervalelor scurte de timp 356

9.4.1. Metode analogice 356

9.4.2. Metode numerice 359

9.5. Marcarea bazei de timp 359

Bibliografie 361

Cap. 10. Măsurarea turaţiei

10.1. Generalităţi 362

10.2. Măsurarea turaţiei cu procedee mecanice 363

10.3. Măsurarea turaţiei prin impulsuri 366

10.3.1. Producerea impulsurilor 366

10.3.2. Măsurarea impulsurilor 368

Pag

10.4. Măsurarea turaţiei cu tahometrul cu curenţi turbionari 370

10.5. Măsurarea turaţiei cu traductoare electrice 371

10.6. Măsurarea turaţiei pe cale stroboscopică 373

10.7. Măsurarea turaţiei cu procedee pneumatice 375

Bibliografie 376

Cap. 11. Măsurarea forţei, momentului de rotaţie şi puterii mecanice

11.1. Generalităţi 377

11.2. Procedee pentru măsurarea forţelor 380

11.2.1. Măsurarea mecanică a forţelor 380

11.2.2. Măsurarea hidraulică a forţelor 382

11.2.3. Măsurarea electrică a forţelor 383

11.3. Măsurarea momentului de rotaţie şi puterii mecanice 385

11.3.1. Procedee de măsurare a momentului de rotaţie 386

11.3.1.1. Frîne mecanice 386

11.3.1.1.1. Frîne cu saboţi 386

11.3.1.1.2. Frîna cu bandă 388

11.3.1.1.3. Frîna cu cablu 389

11.3.1.2. Frîne pneumatice (cu aer) 390

11.3.1.3. Frîne hidraulice 391

11.3.1.4. Frîne electrice 398

11.3.1.4.1. Frîne dinamoelectrice 398

11.3.1.4.2. Frîne cu curenţi turbionari (Foucault) 403

Pag

11.3.1.5. Stabilitatea funcţionării frînelor 406

11.3.2. Procedee de măsurare ale momentelor de rotaţie fără pierdere de putere 409

11.3.2.1. Măsurarea forţei de reacţie 409

11.3.2.2. Metode speciale de măsurare 410

11.3.2.2.1. Dispozitiv de cuplare cu arc 411

11.3.2.2.2. Dispozitiv de măsurare cu bară de torsiune 412

11.3.2.2.3. Măsurarea momentului de rotaţie cu mărci tensometrice 413

11.3.2.2.4. Măsurarea inductivă a momentului de rotaţie 417

11.3.2.2.5. Măsurarea puterii cu două generatoare 419

Bibliografie 422

Cap. 12. Prelevarea probelor de gaz

12.1. Generalităţi 423

12.2. Prelevarea probelor de gaz de la instalaţiile de cazane şi de la camerele de ardere ale turbinelor cu gaze 424

12.3. Prelevarea probelor de gaz de la motoarele cu ardere internă cu piston 427

Bibliografie 441

Anexe 443

Cuprins 458